

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001091223 A**

(43) Date of publication of application: **06.04.01**

(51) Int. Cl.

**G01B 11/14**  
**G01B 11/00**  
**G01M 11/02**

(21) Application number: **11270000**

(22) Date of filing: **24.09.99**

(71) Applicant:

**OLYMPUS OPTICAL CO LTD**

(72) Inventor:

**WADA YORIO**  
**IMAMURA FUMIYOSHI**  
**NISHIOKA KIMIHIKO**

(54) **SPACING MEASURING METHOD AND DEVICE**

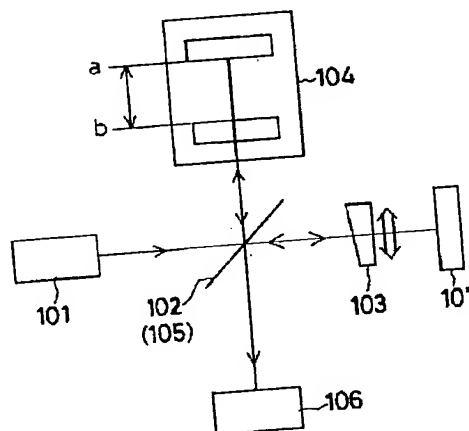
(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a spacing measuring method and device, which can measure thickness and spacing of a lens with high accuracy in nondestructively and in noncontacting manner.

**SOLUTION:** A luminous flux emitted from a low coherence light source 101 is divided by a luminous flux dividing means 102, and one is adjusted as reference light to be varied in optical path length by an optical path length varying means 103 to be reflected by a reflector 107. The reference light and measurement light are superposed by luminous flux composition means 105, and when the optical path length different between reflected light from a face (a) of a tested material 104 and reflected light from the reflector 107 is within a coherence length of the light source, interference occurs and an interference signal is detected by a photoelectric detector 106. The optical path length varying means 103 is moved to reflected light from the other face (b) of the tested material 104 to vary the optical path length, and when an interference signal is obtained by the photoelectric detector 105, spacing a-b

is obtained by measuring the optical path length change of the optical path length varying means 103.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-91223

(P2001-91223A)

(43)公開日 平成13年4月6日(2001.4.6)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	デフォルト <sup>*</sup> (参考)
G 0 1 B 11/14		G 0 1 B 11/14	G 2 F 0 6 5
11/00		11/00	G 2 G 0 8 6
G 0 1 M 11/02		G 0 1 M 11/02	B

審査請求 未請求 請求項の数45 O L (全 28 頁)

(21)出願番号 特願平11-270000

(22)出願日 平成11年9月24日(1999.9.24)

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社  
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 和田順雄

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ  
ンパス光学工業株式会社内

(72)発明者 今村文美

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ  
ンパス光学工業株式会社内

(74)代理人 100097777

弁理士 荻澤 弘 (外7名)

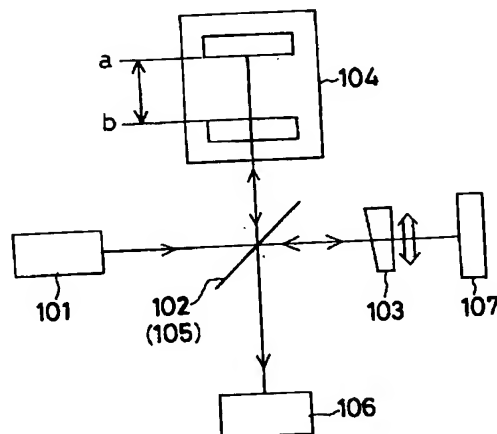
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 面間隔測定方法及び装置

(57)【要約】

【課題】 非破壊、非接触で高精度にレンズの肉厚や面間隔を測定できる面間隔測定方法および装置を提供する。

【解決手段】 低コヒーレンス光源101から射出した光束は、光束分割手段102で分割され、一方は参照光として光路長可変手段103で光路長が可変に調整されて反射鏡107で反射される。参照光と測定光とは光束合成手段105で重なり合うが、被検物104の面aからの反射光と反射鏡107からの反射光との光路長差が光源のコヒーレンス長以内であれば干渉を生じ、光电検出器106で干渉信号が検出される。被検物104のもう一つの面bからの反射光に対し、光路長可変手段103を移動して光路長を変化させ光电検出器105で干渉信号が得られたとき、光路長可変手段103による光路長変化を測定すれば、a-bの間隔が得られる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 空間的コヒーレンス長が短い低コヒーレンス光源と、該低コヒーレンス光源から射出された光束を分割する光束分割手段と、該光束分割手段により分割された一方の光束の光路長を可変させる光路長可変手段と、前記光束分割手段により分割された他方の光束を測定すべき面間隔を有する被検物たる光学系へと導き、該被検物からの反射又は透過光と前記光束分割手段で分割された2つの光束を重ね合わせる光束合成手段と、該光束合成手段により重ね合わされた干渉光から被検物の面間隔を測定することを特徴とする面間隔測定方法及び装置。

【請求項2】 空間的コヒーレンス長が短い低コヒーレンス光源と、該低コヒーレンス光源から射出された光束を任意の形状の光束に整形する光束整形手段と、該光束整形手段から射出された光束を任意の偏光状態にする偏光状態変換手段と、該偏光状態変換手段から射出された光束を偏光状態に応じて分割する光束分割手段と、該光束分割手段により分割された一方の光束の偏光状態を変換する第2の偏光状態変換手段と、該第2の偏光状態変換手段により偏光状態が変化した光束を反射する反射手段と、該反射手段と前記光束分割手段との間の光路中に光路長を可変させる光路長可変手段を設け、前記光束分割手段により分割された他方の光束の偏光状態を変換する第3の偏光状態変換手段と、該第3の偏光状態変換手段により偏光状態が変化した光束を測定すべき面間隔を有する被検物たる光学系へと導き、測定すべき面に向かって光束が入射するような調整手段を伴った光学素子と、前記光束分割手段で分割された2つの光束を重ね合わせる光束合成手段と、該光束合成手段により重ね合わされた光束の光強度を電気信号に変換する光電変換手段とを備えたことを特徴とする面間隔測定方法及び装置。

【請求項3】 前記光路長可変手段として、プリズムを用いたことを特徴とする請求項1又は2記載の面間隔測定方法及び装置。

【請求項4】 前記光路長可変手段として、屈折率が可変の液晶を用いたことを特徴とする請求項1又は2記載の面間隔測定方法及び装置。

【請求項5】 空間的コヒーレンス長が短い低コヒーレンス光源と、該低コヒーレンス光源から射出された光束を任意の形状の光束に整形する光束整形手段と、該光束整形手段から射出された光束を任意の偏光状態にする第1の偏光状態変換手段と、該偏光状態変換手段から射出された光束を偏光状態に応じて分割する光束分割手段と、該第1の光束分割手段により分割された一方の光束の光路上に配置された光路長を変化させる光路長変化手段と、光束の偏光状態を変換する第2の偏光状態変換手段と、前記光束分割手段により分割された他方の光束の偏光状態を変換する第3の偏光状態変換手段と、該第3の偏光状態変換手段により偏光状態が変化した光束を測

定すべき面間隔を有する被検物たる光学系へと導き、測定すべき面に向かって光束が入射するような調整手段を伴った光学素子と、前記被検物からの反射光を反射する反射手段と、該反射手段からの反射光と前記光路長変化手段を経由した光束とを重ね合わせる光束合成手段と、該光束合成手段により重ね合わされた光束の光強度を電気信号に変換する光電変換手段とを備えたことを特徴とする面間隔測定方法及び装置。

【請求項6】 空間的コヒーレンス長が短い低コヒーレンス光源と、該低コヒーレンス光源から射出された光束を分割する光束分割手段と、該光束分割手段により分割された一方の光束を反射する第1の反射手段と、該第1の反射手段で反射された光束を反射させるための第2の反射手段と、前記光束分割手段により分割された他方の光束を測定すべき面間隔を有する被検物たる光学系へと導き、測定すべき面に向かって光束が入射するような調整手段を伴った光学素子と、前記光束分割手段で分割された2つの光束を重ね合わせる光束合成手段と、該光束合成手段により重ね合わされた光束の干渉情報から面間隔を求めることを特徴とする面間隔測定方法及び装置。

【請求項7】 空間的コヒーレンス長が短い低コヒーレンス光源と、該低コヒーレンス光源から射出された光束を任意の形状の光束に整形する光束整形手段と、該光束整形手段により整形された光束の一部を反射する反射手段と、前記光束整形手段により整形された光束と平行する光路上に配置された測定すべき面間隔を有する被検物たる光学系へと導き、測定すべき面に向かって光束が入射するような調整手段を伴った光学素子と、前記反射手段で反射された光束と被検物で反射された光束を重ね合わせる光束合成手段と、該光束合成手段により重ね合わされた光束の干渉情報から面間隔を求めることを特徴とする面間隔測定方法及び装置。

【請求項8】 光路中に光ファイバーを用いたことを特徴とする請求項1から7の何れか1項記載の面間隔測定方法及び装置。

【請求項9】 液晶の屈折率を測定することを特徴とする請求項8記載の測定方法及び装置。

【請求項10】 請求項1から7の何れか1項において、被検物たる光学系中の光学素子の厚さを設計値又は実測より既知とし、前記光学系の面間隔測定の結果から求めた光路長より該光学素子の群屈折率を計算し、予め作成した複数のガラス又はプラスチック材料の測定波長域での群屈折率を計算した表の中から前記光学素子の群屈折率測定値と一致する群屈折率を有するガラス又はプラスチックを検索することにより、被検物の光学素子のガラス又はプラスチック材料の種類を特定することを特徴とする光学材料の判別方法及び装置。

【請求項11】 前記低コヒーレンス光源が直線偏光した光束を射出するものであり、光軸を中心として回転可能であることを特徴とする請求項1から10の何れか1

項記載の測定方法及び装置。

【請求項12】 前記低コヒーレンス光源が直線偏光した光束を射出するものであり、該光源と光束分割手段との間の光軸上に1/2波長板を配置し、該1/2波長板が光軸を中心として回転可能であることを特徴とする請求項1から10の何れか1項記載の測定方法及び装置。

【請求項13】 請求項11又は12において、該光源がシングルモード発振の半導体レーザを閾値電流以下で動作したものであることを特徴とする測定方法及び装置。

【請求項14】 請求項11又は12において、該光源がパルスレーザであることを特徴とする測定方法及び装置。

【請求項15】 反射手段が反射率可変ミラーであることを特徴とする請求項1から10の何れか1項記載の測定方法及び装置。

【請求項16】 請求項15において、被検物の測定対象の面で反射した反射光が光束合成手段に入射する位置での光強度を $I_1$ 、該反射率可変ミラーで反射した反射光が光束合成手段に入射する位置での光強度を $I_2$ としたとき、

$$0.05 \leq I_1 / I_2 \leq 2.0$$

となるように、該反射率可変ミラーの反射率を調整することを特徴とする測定方法及び装置。

【請求項17】 請求項15において、被検物の測定対象の面で反射した反射光が光束合成手段に入射する位置での光強度を $I_1$ 、該反射率可変ミラーで反射した反射光が光束合成手段に入射する位置での光強度を $I_2$ としたとき、

$$0.2 \leq I_1 / I_2 \leq 5$$

となるように、該反射率可変ミラーの反射率を調整することを特徴とする測定方法及び装置。

【請求項18】 反射手段が、光軸方向に可動なステージ上に間隔を空けて配置された複数の反射率可変ミラーであり、独立に反射率が制御できるものであることを特徴とする請求項1から17の何れか1項記載の測定方法及び装置。

【請求項19】 光束分割手段と光路長可変手段との間の光軸上に透明媒体を配置することを特徴とする請求項1から18の何れか1項記載の測定方法及び装置。

【請求項20】 請求項19において、該透明媒体が以下の条件式を満足することを特徴とする測定方法及び装置。

$$0.5 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d / (L_S - L_L) < 2$$

ただし、

$d$  : 透明媒体の厚さ

$n(\lambda)$  : 任意の波長 $\lambda$ における透明媒体の群屈折率

$\lambda_S$  : 光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長 $\lambda_0$ での光強度を $I_0$ としたとき、光強度が $0.5 I_0$

となる波長のうち $\lambda_0$ より短波長側の波長

$\lambda_L$  : 光強度が $0.5 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より長波長側の波長

$L_S$  : 測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長 $\lambda_S$ における光路長の和

$L_L$  : 測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長 $\lambda_L$ における光路長の和である。

【請求項21】 請求項19において、該透明媒体が以下の条件式を満足することを特徴とする測定方法及び装置。

$$0.8 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d / (L_S - L_L) < 1.25$$

ただし、

$d$  : 透明媒体の厚さ

$n(\lambda)$  : 任意の波長 $\lambda$ における透明媒体の群屈折率

$\lambda_S$  : 光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長 $\lambda_0$ での光強度を $I_0$ としたとき、光強度が $0.5 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より短波長側の波長

$\lambda_L$  : 光強度が $0.5 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より長波長側の波長

$L_S$  : 測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長 $\lambda_S$ における光路長の和

$L_L$  : 測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長 $\lambda_L$ における光路長の和である。

【請求項22】 請求項19において、該透明媒体が以下の条件式を満足することを特徴とする測定方法及び装置。

$$0.5 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d / ((L_{Sa} - L_{La}) / 2) < 2$$

ただし、

$d$  : 透明媒体の厚さ

$n(\lambda)$  : 任意の波長 $\lambda$ における透明媒体の群屈折率

$\lambda_S$  : 光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長 $\lambda_0$ での光強度を $I_0$ としたとき、光強度が $0.5 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より短波長側の波長

$\lambda_L$  : 光強度が $0.5 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より長波長側の波長

$L_{Sa}$  : 被検物中の全レンズの光軸上での波長 $\lambda_S$ における光路長の和

$L_{La}$  : 被検物中の全レンズの光軸上での波長 $\lambda_L$ における光路長の和である。

【請求項23】 請求項19において、該透明媒体が以下の条件式を満足することを特徴とする測定方法及び装置。

$$0.8 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d / ((L_{Sa} - L_{La}) / 2) < 1.25$$

ただし、

d : 透明媒体の厚さ

$n(\lambda)$  : 任意の波長 $\lambda$ における透明媒体の群屈折率

$\lambda_S$  : 光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長 $\lambda_0$ での光強度を $I_0$ としたとき、光強度が $0.5 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より短波長側の波長

$\lambda_L$  : 光強度が $0.5 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より長波長側の波長

$L_{Sa}$  : 被検物中の全レンズの光軸上での波長 $\lambda_S$ における光路長の和

$L_{La}$  : 被検物中の全レンズの光軸上での波長 $\lambda_L$ における光路長の和

である。

【請求項24】 請求項19において、該透明媒体が以下の条件式を満足することを特徴とする測定方法及び装置。

$$|(n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d - (L_S - L_L)| < 100 [\mu m]$$

ただし、

d : 透明媒体の厚さ

$n(\lambda)$  : 任意の波長 $\lambda$ における透明媒体の群屈折率

$\lambda_S$  : 光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長 $\lambda_0$ での光強度を $I_0$ としたとき、光強度が $0.5 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より短波長側の波長

$\lambda_L$  : 光強度が $0.5 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より長波長側の波長

$L_S$  : 測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長 $\lambda_S$ における光路長の和

$L_L$  : 測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長 $\lambda_L$ における光路長の和

である。

【請求項25】 請求項19において、該透明媒体が以下の条件式を満足することを特徴とする測定方法及び装置。

$$|(n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d - (L_S - L_L)| < 30 [\mu m]$$

ただし、

d : 透明媒体の厚さ

$n(\lambda)$  : 任意の波長 $\lambda$ における透明媒体の群屈折率

$\lambda_S$  : 光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長 $\lambda_0$ での光強度を $I_0$ としたとき、光強度が $0.5 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より短波長側の波長

$\lambda_L$  : 光強度が $0.5 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より長波長側の波長

$L_S$  : 測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長 $\lambda_S$ における光路長の和

$L_L$  : 測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長 $\lambda_L$ における光路長の和

である。

【請求項26】 請求項20から25の何れか1項において、 $\lambda_S$ を光強度が $0.2 I_0$ となる波長のなか

より短波長側の波長、 $\lambda_L$ を光強度が $0.2 I_0$ となる波長のなか $\lambda_0$ より長波長側の波長とすることを特徴とする測定方法及び装置。

【請求項27】 請求項20から25の何れか1項において、 $\lambda_S$ を光強度が $0.1 I_0$ となる波長のなか $\lambda_0$ より短波長側の波長、 $\lambda_L$ を光強度が $0.1 I_0$ となる波長のなか $\lambda_0$ より長波長側の波長とすることを特徴とする測定方法及び装置。

【請求項28】 請求項19から25の何れか1項において、該透明媒体は複数の透明媒体からなることを特徴とする測定方法及び装置。

【請求項29】 コヒーレンス長が短い光源から射出された光束を光束分割手段により分割し、一方を参照光と、他方は測定光として間隔を測定すべき被検物へと導き、かつ、参照光路と測定光路とが略同一方向に配置されており、前記参照光と測定光を重畳させ、光学素子又は光学系又は光学装置の面間隔を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項30】 コヒーレンス長が短い光源を用いた干渉計と、前記干渉計の光路中に被検物を配置して干渉を生じさせ、光学素子と表示装置又は表示素子との面間隔を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項31】 コヒーレンス長が短い光源を用いた干渉計と、前記干渉計の光路中に被検物を配置して干渉を生じさせ、面形状を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項32】 コヒーレンス長の短い光源と、測定光光路と、参照光路とを備え、被測定物に前記光源からの光を入射し、その射出光と参照光路の光を干渉させて面形状を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項33】 被測定物に入射する光路中にレンズアレーを設けたことを特徴とする請求項31又は32記載の面形状を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項34】 被測定物に入射する光路中に光束を複数に整形する手段を設けたことを特徴とする請求項31又は32記載の面形状を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項35】 被測定物に入射する光路中に配置した光束を整形する手段を動かしつつ、測定を行うことを特徴とする請求項31又は32記載の面形状を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項36】 被測定物と受光素子とが光学的に共役であることを特徴とする請求項31又は32記載の面形状を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項37】 コヒーレンス長が短い光源を用いた干渉計と、前記干渉計の光路中に被検物を配置して干渉を生じさせ、被検物の面位置又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項38】 コヒーレンス長が短い光源を用いたファイバーを用いた干渉計と、前記干渉計の光路中に被

20

30

40

50

検物を配置して干渉を生じさせ、被検物の面間隔又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項39】 コヒーレンス長が短い光源を用いた光ファイバーを用いた干渉計において、前記干渉計の光路中に光路長を変化させる部材を設け、前記干渉計の光路中に被検物を配置して干渉を生じさせ、被検物の面間隔又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項40】 コヒーレンス長が短い光源を用いた光ファイバーを用いた干渉計において、干渉計の光路中に被検物を配置し、前記干渉計の光路中に光路長を変化させる部材を設け、光路長を変化させる部材を通った光と、通らない光とを干渉させて干渉を生じさせ、被検物の面間隔又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項41】 コヒーレンス長が短い光源を用いた光ファイバーを用いた干渉計において、光を前記干渉計の光路中に設けた光路長を変化させる部材に入射し、光路長を変化させる部材を通らない光と共に被検物に入射し、出射光を干渉させて干渉を生じさせ、被検物の面間隔又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項42】 コヒーレンス長が短い光源を用いた光ファイバーを用いた干渉計において、干渉計の光路中に被検物を配置し、被検物からの出射光を、前記干渉計の光路中に設けた光路長を変化させる部材に入射し、光路長を変化させる部材を通らない被検物からの出射光と干渉させて干渉を生じさせ、被検物の面間隔又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項43】 コヒーレンス長が短い光源を用いた干渉計において、干渉計の光路中に被検物を配置し、前記干渉計の光路中に光路長を変化させる部材を設け、光路長を変化させる部材を通った光と通らない光とを干渉させて干渉を生じさせ、被検物の面間隔又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【請求項44】 コヒーレンス長が短い光源から射出された光束を光束分割手段により分割し、一方を参照光として、他方は測定光として距離を測定すべき被検物へと導き、前記参照光と測定光を重畳させて、距離を求める方法又は装置。

【請求項45】 コヒーレンス長が短い光源から射出された光束を光束分割手段により分割し、一方を参照光とし、他方は測定光として距離を測定すべき被検物へと内視鏡又は硬性鏡光学系を通して導き、前記参照光と測定光を重畳させて距離を求める方法又は装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、レンズの肉厚や面間隔、すなわち面位置を測定する面間隔測定方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来の面間隔測定器としては、レンズ等の光学素子の面頂からの反射像をそれぞれ検出し、面間隔を測定する方法が知られている。また、X線を用いて光学系の断面を撮影し、X線写真から素子間の距離を求める方法もある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記の従来の測定器では、面間隔の測定精度が悪く、光学系の高精度化の要求には対応できていない。

【0004】 本発明は上記の従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、非破壊、非接触で高精度にレンズの肉厚や面間隔、すなわち面位置を測定できる面間隔測定方法及び装置を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成する本発明の面間隔測定方法及び装置等は例えば以下の通りである。

【0006】 〔1〕 空間的コヒーレンス長が短い低コヒーレンス光源と、該低コヒーレンス光源から射出された光束を分割する光束分割手段と、該光束分割手段により分割された一方の光束の光路長を可変させる光路長可変手段と、前記光束分割手段により分割された他方の光束を測定すべき面間隔を有する被検物たる光学系へと導き、該被検物からの反射又は透過光と前記光束分割手段で分割された2つの光束を重ね合わせる光束合成手段と、該光束合成手段により重ね合わされた干渉光から被検物の面間隔を測定することを特徴とする面間隔測定方法及び装置。

【0007】 〔2〕 空間的コヒーレンス長が短い低コヒーレンス光源と、該低コヒーレンス光源から射出された光束を任意の形状の光束に整形する光束整形手段と、該光束整形手段から射出された光束を任意の偏光状態にする偏光状態変換手段と、該偏光状態変換手段から射出された光束を偏光状態に応じて分割する光束分割手段と、該光束分割手段により分割された一方の光束の偏光状態を変換する第2の偏光状態変換手段と、該第2の偏光状態変換手段により偏光状態が変化した光束を反射する反射手段と、該反射手段と前記光束分割手段との間の光路中に光路長を可変させる光路長可変手段を設け、前記光束分割手段により分割された他方の光束の偏光状態を変換する第3の偏光状態変換手段と、該第3の偏光状態変換手段により偏光状態が変化した光束を測定すべき面間隔を有する被検物たる光学系へと導き、測定すべき面に向かって光束が入射するような調整手段を伴った光学素子と、前記光束分割手段で分割された2つの光束を重ね合わせる光束合成手段と、該光束合成手段により重ね合わされた光束の光強度を電気信号に変換する光電変換手段とを備えたこと特徴とする面間隔測定方法及び装置。

【0008】 〔3〕 前記光路長可変手段として、プリ

ズムを用いたことを特徴とする上記1又は2記載の面間隔測定方法及び装置。

【0009】〔4〕 前記光路長可変手段として、屈折率が可変の液晶を用いたことを特徴とする上記1又は2記載の面間隔測定方法及び装置。

【0010】〔5〕 空間的コヒーレンス長が短い低コヒーレンス光源と、該低コヒーレンス光源から射出された光束を任意の形状の光束に整形する光束整形手段と、該光束整形手段から射出された光束を任意の偏光状態にする第1の偏光状態変換手段と、該偏光状態変換手段から射出された光束を偏光状態に応じて分割する光束分割手段と、該第1の光束分割手段により分割された一方の光束の光路上に配置された光路長を変化させる光路長変化手段と、光束の偏光状態を変換する第2の偏光状態変換手段と、前記光束分割手段により分割された他方の光束の偏光状態を変換する第3の偏光状態変換手段と、該第3の偏光状態変換手段により偏光状態が変化した光束を測定すべき面間隔を有する被検物たる光学系へと導き、測定すべき面に向かって光束が入射するような調整手段を伴った光学素子と、前記被検物からの反射光を反射する反射手段と、該反射手段からの反射光と前記光路長変化手段を経由した光束とを重ね合わせる光束合成手段と、該光束合成手段により重ね合わされた光束の光強度を電気信号に変換する光電変換手段とを備えたことを特徴とする面間隔測定方法及び装置。

【0011】〔6〕 空間的コヒーレンス長が短い低コヒーレンス光源と、該低コヒーレンス光源から射出された光束を分割する光束分割手段と、該光束分割手段により分割された一方の光束を反射する第1の反射手段と、該第1の反射手段で反射された光束を反射させるための第2の反射手段と、前記光束分割手段により分割された他方の光束を測定すべき面間隔を有する被検物たる光学系へと導き、測定すべき面に向かって光束が入射するような調整手段を伴った光学素子と、前記光束分割手段で分割された2つの光束を重ね合わせる光束合成手段と、該光束合成手段により重ね合わされた光束の干渉情報から面間隔を求めることを特徴とする面間隔測定方法及び装置。

【0012】〔7〕 空間的コヒーレンス長が短い低コヒーレンス光源と、該低コヒーレンス光源から射出された光束を任意の形状の光束に整形する光束整形手段と、該光束整形手段により整形された光束の一部を反射する反射手段と、前記光束整形手段により整形された光束と平行する光路上に配置された測定すべき面間隔を有する被検物たる光学系へと導き、測定すべき面に向かって光束が入射するような調整手段を伴った光学素子と、前記反射手段で反射された光束と被検物で反射された光束を重ね合わせる光束合成手段と、該光束合成手段により重ね合わされた光束の干渉情報から面間隔を求めることを特徴とする面間隔測定方法及び装置。

【0013】〔8〕 光路中に光ファイバーを用いたことを特徴とする上記1から7の何れか1項記載の面間隔測定方法及び装置。

【0014】〔9〕 液晶の屈折率を測定することを特徴とする上記8記載の測定方法及び装置。

【0015】〔10〕 上記1から7の何れか1項において、被検物たる光学系中の光学素子の厚さを設計値又は実測より既知とし、前記光学系の面間隔測定の結果から求めた光路長より該光学素子の群屈折率を計算し、予め作成した複数のガラス又はプラスチック材料の測定波長域での群屈折率を計算した表の中から前記光学素子の群屈折率測定値と一致する群屈折率を有するガラス又はプラスチックを検索することにより、被検物の光学素子のガラス又はプラスチック材料の種類を特定することを特徴とする光学材料の判別方法及び装置。

【0016】〔11〕 前記低コヒーレンス光源が直線偏光した光束を射出するものであり、光軸を中心として回転可能であることを特徴とする上記1から10の何れか1項記載の測定方法及び装置。

【0017】〔12〕 前記低コヒーレンス光源が直線偏光した光束を射出するものであり、該光源と光束分割手段との間の光軸上に1/2波長板を配置し、該1/2波長板が光軸を中心として回転可能であることを特徴とする上記1から10の何れか1項記載の測定方法及び装置。

【0018】〔13〕 上記11又は12において、該光源がシングルモード発振の半導体レーザを閾値電流以下で動作したものであることを特徴とする測定方法及び装置。

【0019】〔14〕 上記11又は12において、該光源がパルスレーザであることを特徴とする測定方法及び装置。

【0020】〔15〕 反射手段が反射率可変ミラーであることを特徴とする上記1から10の何れか1項記載の測定方法及び装置。

【0021】〔16〕 上記15において、被検物の測定対象の面で反射した反射光が光束合成手段に入射する位置での光強度を $I_1$ 、該反射率可変ミラーで反射した反射光が光束合成手段に入射する位置での光強度を $I_2$ としたとき、 $0.05 \leq I_1 / I_2 \leq 20$ となるように、該反射率可変ミラーの反射率を調整することを特徴とする測定方法及び装置。

【0022】〔17〕 上記15において、被検物の測定対象の面で反射した反射光が光束合成手段に入射する位置での光強度を $I_1$ 、該反射率可変ミラーで反射した反射光が光束合成手段に入射する位置での光強度を $I_2$ としたとき、 $0.2 \leq I_1 / I_2 \leq 5$ となるように、該反射率可変ミラーの反射率を調整することを特徴とする測定方法及び装置。

【0023】〔18〕 反射手段が、光軸方向に可動な



11

ステージ上に間隔を空けて配置された複数の反射率可変ミラーであり、独立に反射率が制御できるものであることを特徴とする上記1から17の何れか1項記載の測定方法及び装置。

【0024】[19] 光束分割手段と光路長変化手段との間の光軸上に透明媒体を配置することを特徴とする上記1から18の何れか1項記載の測定方法及び装置。

【0025】[20] 上記19において、該透明媒体が以下の条件式を満足することを特徴とする測定方法及び装置。

$$\frac{0.5 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d}{(L_S - L_L)} < 2$$

ただし、

d：透明媒体の厚さ

n(λ)：任意の波長λにおける透明媒体の群屈折率

λ<sub>S</sub>：光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長λ<sub>0</sub>での光強度をI<sub>0</sub>としたとき、光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より短波長側の波長

λ<sub>L</sub>：光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より長波長側の波長

L<sub>S</sub>：測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長λ<sub>S</sub>における光路長の和

L<sub>L</sub>：測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長λ<sub>L</sub>における光路長の和

である。

【0027】[21] 上記19において、該透明媒体が以下の条件式を満足することを特徴とする測定方法及び装置。

$$\frac{0.8 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d}{(L_S - L_L)} < 1.25$$

ただし、

d：透明媒体の厚さ

n(λ)：任意の波長λにおける透明媒体の群屈折率

λ<sub>S</sub>：光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長λ<sub>0</sub>での光強度をI<sub>0</sub>としたとき、光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より短波長側の波長

λ<sub>L</sub>：光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より長波長側の波長

L<sub>S</sub>：測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長λ<sub>S</sub>における光路長の和

L<sub>L</sub>：測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長λ<sub>L</sub>における光路長の和

である。

【0029】[22] 上記19において、該透明媒体が以下の条件式を満足することを特徴とする測定方法及び装置。

$$\frac{0.5 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d}{(L_{Sa} - L_{La}) / 2} < 2$$

ただし、

d：透明媒体の厚さ

n(λ)：任意の波長λにおける透明媒体の群屈折率

λ<sub>S</sub>：光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長λ<sub>0</sub>での光強度をI<sub>0</sub>としたとき、光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より短波長側の波長

λ<sub>L</sub>：光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より長波長側の波長

L<sub>Sa</sub>：被検物中の全レンズの光軸上での波長λ<sub>S</sub>における光路長の和

L<sub>La</sub>：被検物中の全レンズの光軸上での波長λ<sub>L</sub>における光路長の和

である。

【0031】[23] 上記19において、該透明媒体が以下の条件式を満足することを特徴とする測定方法及び装置。

$$\frac{0.8 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d}{(L_{Sa} - L_{La}) / 2} < 1.25$$

ただし、

d：透明媒体の厚さ

n(λ)：任意の波長λにおける透明媒体の群屈折率

λ<sub>S</sub>：光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長λ<sub>0</sub>での光強度をI<sub>0</sub>としたとき、光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より短波長側の波長

λ<sub>L</sub>：光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より長波長側の波長

L<sub>Sa</sub>：被検物中の全レンズの光軸上での波長λ<sub>S</sub>における光路長の和

L<sub>La</sub>：被検物中の全レンズの光軸上での波長λ<sub>L</sub>における光路長の和

である。

【0033】[24] 上記19において、該透明媒体が以下の条件式を満足することを特徴とする測定方法及び装置。

$$|(n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d - (L_S - L_L)| < 100 [\mu m]$$

ただし、

d：透明媒体の厚さ

n(λ)：任意の波長λにおける透明媒体の群屈折率

λ<sub>S</sub>：光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長λ<sub>0</sub>での光強度をI<sub>0</sub>としたとき、光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より短波長側の波長

λ<sub>L</sub>：光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より長波長側の波長

L<sub>S</sub>：測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長λ<sub>S</sub>における光路長の和

L<sub>L</sub>：測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長λ<sub>L</sub>における光路長の和

である。

【0035】[25] 上記19において、該透明媒体が以下の条件式を満足することを特徴とする測定方法及

50



び装置。

【0036】  $| (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d - (L_S - L_L) | < 30 [\mu m]$

ただし、

d : 透明媒体の厚さ

$n(\lambda)$  : 任意の波長  $\lambda$  における透明媒体の群屈折率

$\lambda_S$  : 光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長  $\lambda_0$  での光強度を  $I_0$  としたとき、光強度が  $0.5 I_0$  となる波長のうち  $\lambda_0$  より短波長側の波長

$\lambda_L$  : 光強度が  $0.5 I_0$  となる波長のうち  $\lambda_0$  より長波長側の波長

$L_S$  : 測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長  $\lambda_S$  における光路長の和

$L_L$  : 測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長  $\lambda_L$  における光路長の和

である。

【0037】 【26】 上記20から25の何れか1項において、 $\lambda_S$  を光強度が  $0.2 I_0$  となる波長のうち  $\lambda_0$  より短波長側の波長、 $\lambda_L$  を光強度が  $0.2 I_0$  となる波長のうち  $\lambda_0$  より長波長側の波長とすることを特徴とする測定方法及び装置。

【0038】 【27】 上記20から25の何れか1項において、 $\lambda_S$  を光強度が  $0.1 I_0$  となる波長のうち  $\lambda_0$  より短波長側の波長、 $\lambda_L$  を光強度が  $0.1 I_0$  となる波長のうち  $\lambda_0$  より長波長側の波長とすることを特徴とする測定方法及び装置。

【0039】 【28】 上記19から25の何れか1項において、該透明媒体は複数の透明媒体からなることを特徴とする測定方法及び装置。

【0040】 【29】 コヒーレンス長が短い光源から射出された光束を光束分割手段により分割し、一方を参照光と、他方は測定光として間隔を測定すべき被検物へと導き、かつ、参照光路と測定光路とが略同一方向に配置されており、前記参照光と測定光を重畳させ、光学素子又は光学系又は光学装置の面間隔を求める方法又は装置又は測定された物。

【0041】 【30】 コヒーレンス長が短い光源を用いた干渉計と、前記干渉計の光路中に被検物を配置して干渉を生じさせ、光学素子と表示装置又は表示素子との面間隔を求める方法又は装置又は測定された物。

【0042】 【31】 コヒーレンス長が短い光源を用いた干渉計と、前記干渉計の光路中に被検物を配置して干渉を生じさせ、面形状を求める方法又は装置又は測定された物。

【0043】 【32】 コヒーレンス長の短い光源と、測定光光路と、参照光路とを備え、被測定物に前記光源からの光を入射し、その射出光と参照光路の光を干渉させて面形状を求める方法又は装置又は測定された物。

【0044】 【33】 被測定物に入射する光路中にレンズアレーを設けたことを特徴とする上記31又は32

記載の面形状を求める方法又は装置又は測定された物。

【0045】 【34】 被測定物に入射する光路中に光束を複数に整形する手段を設けたことを特徴とする上記31又は32記載の面形状を求める方法又は装置又は測定された物。

【0046】 【35】 被測定物に入射する光路中に配置した光束を整形する手段を動かしつつ、測定を行うことを特徴とする上記31又は32記載の面形状を求める方法又は装置又は測定された物。

【0047】 【36】 被測定物と受光素子とが光学的に共役であることを特徴とする上記31又は32記載の面形状を求める方法又は装置又は測定された物。

【0048】 【37】 コヒーレンス長が短い光源を用いた干渉計と、前記干渉計の光路中に被検物を配置して干渉を生じさせ、被検物の面位置又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【0049】 【38】 コヒーレンス長が短い光源を用いた光ファイバーを用いた干渉計と、前記干渉計の光路中に被検物を配置して干渉を生じさせ、被検物の面間隔又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【0050】 【39】 コヒーレンス長が短い光源を用いた光ファイバーを用いた干渉計において、前記干渉計の光路中に光路長を変化させる部材を設け、前記干渉計の光路中に被検物を配置して干渉を生じさせ、被検物の面間隔又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【0051】 【40】 コヒーレンス長が短い光源を用いた光ファイバーを用いた干渉計において、干渉計の光路中に被検物を配置し、前記干渉計の光路中に光路長を変化させる部材を設け、光路長を変化させる部材を通った光と、通らない光とを干渉させて干渉を生じさせ、被検物の面間隔又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【0052】 【41】 コヒーレンス長が短い光源を用いた光ファイバーを用いた干渉計において、光を前記干渉計の光路中に設けた光路長を変化させる部材に入射し、光路長を変化させる部材を通らない光と共に被検物に入射し、出射光を干渉させて干渉を生じさせ、被検物の面間隔又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【0053】 【42】 コヒーレンス長が短い光源を用いた光ファイバーを用いた干渉計において、干渉計の光路中に被検物を配置し、被検物からの出射光を、前記干渉計の光路中に設けた光路長を変化させる部材に入射し、光路長を変化させる部材を通らない被検物からの出射光と干渉させて干渉を生じさせ、被検物の面間隔又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【0054】 【43】 コヒーレンス長が短い光源を用いた干渉計において、干渉計の光路中に被検物を配置し、前記干渉計の光路中に光路長を変化させる部材を設

け、光路長を変化させる部材を通った光と通らない光とを干渉させて干渉を生じさせ、被検物の面間隔又は物理特性を求める方法又は装置又は測定された物。

【0055】〔44〕 コヒーレンス長が短い光源から射出された光束を光束分割手段により分割し、一方を参照光として、他方は測定光として距離を測定すべき被検物へと導き、前記参照光と測定光を重畳させて、距離を求める方法又は装置。

【0056】〔45〕 コヒーレンス長が短い光源から射出された光束を光束分割手段により分割し、一方を参照光とし、他方は測定光として距離を測定すべき被検物へと内視鏡又は硬性鏡光学系を通して導き、前記参照光と測定光を重畳させて距離を求める方法又は装置。

【0057】まず、本発明による面間隔測定方法及び装置の基本的な構成を図1を用いて説明する。低コヒーレンス光源101から射出した光束は、光束分割手段102で分割され、一方は参照光として光路長可変手段103で光路長が可変に調整されて反射鏡107で反射されるようにしておく。参照光と測定光とは光束分割手段102が兼ねる光束合成手段105で重なり合うが、被検物104の面aからの反射光と反射鏡107からの反射光との光路長差が光源のコヒーレンス長以内であれば干渉を生じ、光電検出器106で干渉信号が検出される。次に、被検物104のもう一つの面bからの反射光に対し、光路長可変手段103を移動して光路長を変化させ光電検出器105で干渉信号が得られたとき、光路長可変手段103による光路長変化を測定すれば、a-bの間隔が得られる。

【0058】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の面間隔測定方法及び装置の実施形態について説明する。

【0059】（実施例1）図2は本発明の実施例1の構成を示す図である。低コヒーレンス光源1から射出した光束は、コリメータレンズ2により平行光となり、偏光子（ポラライザ）3で直線偏光になる。コリメータレンズ2としては顕微鏡対物レンズを用いてもよい。次に、この直線偏光を偏光ビームスプリッタ（PBS）4で分割する際、透過光と反射光が略等しい光量になるよう、偏光子3の透過軸の方位角を設定しておく。偏光ビームスプリッタ4で分割された光束の中、透過光は参照光として、第1の1/4波長板5で円偏光となり、光路長可変手段51を構成する楔形プリズム52を通り、反射鏡6で反射した後、再度楔形プリズム52、1/4波長板5を順に通って直線偏光になり、偏光ビームスプリッタ4で反射され、光電検出器（フォトデテクタ）8に入射する。楔形プリズム52はリニアガイド等で光軸に直交する方向に移動することができ、さらにその移動距離は測長器等により正確に測定できる。

【0060】一方、偏光ビームスプリッタ4で分割された反射光は測定光として、第2の1/4波長板10を通

り円偏光になる。面の間隔や肉厚を測定したい被検光学系14の測定すべき一方の面aの球心近傍又は面頂近傍に向かって光が入射するよう被検光学系14の入射側に配置したレンズ30の位置を選び、このレンズ30を介して第2の1/4波長板10を通った円偏光が被検光学系14に入射する。レンズ30の位置は予め光線追跡等の光学計算で求めておく。このように配置することで、面aで反射した光束はレンズ30で、例えば光軸に対して $\pm 10^\circ$ 以内の略平行光となる。そして、その反射光は1/4波長板10で直線偏光になり偏光ビームスプリッタ4を透過し、光電検出器8に入射する。

【0061】光電検出器8としては、CCDのような1次元又は2次元の固体撮像素子、撮像管、フォトダイオード等を用いることができる。2次元の光電変換素子を用いれば、被検光学系14の測定すべき各面からの反射像がCRT上で確認できるので、被検レンズの位置決めがしやすいメリットがある。

【0062】ここで、被検光学系14としては、カメラ、デジタルカメラのズームレンズ、単焦点レンズ、顕微鏡、内視鏡のレンズ、メガネレンズ、コンタクトレンズ等がある。

【0063】光電検出器8、たとえば、フォトダイオード、CCD、C-MOSセンサ、撮像管、フォトマルチプライヤ、ラインセンサ、CdS等では、反射鏡6で反射された光（参照光）と、被検レンズで反射された光（測定光）が重なり合い、両者の光路長差が光源のコヒーレンス長の範囲内であれば干渉が生じ干渉信号が観測される。光源1にコヒーレンス長が数十 $\mu\text{m}$ 程度の低コヒーレンス光源を用いれば、参照光と測定光の光路長差がコヒーレンス長の範囲内になったとき干渉信号が観測される。

【0064】低コヒーレンス光源1としては、コヒーレンス長が半値全幅0.1 $\mu\text{m}$ ～200 $\mu\text{m}$ 又は波長の半値全幅で1nm～500nmの光源を用いることができる。たとえば、スーパーluminescentダイオード（SLD）が近年よく知られているが、半導体レーザを閾値電流以下で動作させるか、短パルスレーザ、ハロゲンランプ、LED等を用いてもよい。

【0065】この状態で楔形プリズム52の位置を記録するか、リセットしておく。

【0066】次に、被検光学系14の測定すべきもう一方の面bの球心近傍又は面頂近傍に向かって光が入射するようレンズ30の位置を選択し、面bからの反射光が光電検出器8に入射するようにしておく。そして、楔形プリズム52の位置を変化させ、干渉信号が得られる位置を求める。

【0067】この位置での楔形プリズム52の位置を読み取る。この値と面aで求めた値を差し引き、その差を空中の光路長に換算することで、求めるべき間隔が得られる。

17

【0068】ここで求めた値は空気換算長なので、測定したい間隔の間の媒質が空気の場合、その換算した光路長がそのまま求めるべき間隔となるが、間隔がガラスのような光学的に密な媒質の場合、媒質の屈折率で割ることで実際の間隔を求めることができる。

【0069】ここで、SLD等の低コヒーレンス光源を\*

$$n_g = n_p - \lambda (dn_p / d\lambda)$$

ここで、 $n_p$  は位相屈折率を表し、 $\lambda$  は波長を表す。この考え方は本発明全般に使用できる。

【0072】このとき、楔形プリズム52の光路長を反射鏡(移動鏡)6の位置に換算した位置は、被検光学系14の屈折率と面間隔がおおよそ既知の場合には、干渉縞\*

$$z_{j+1} = \sum_{i=1}^j n_{gi} \times t_i + C$$

ただし、 $z_{j+1}$  は、 $j$  番目の反射光で生じる干渉縞が発生する反射鏡6の上記換算位置である

$n_{gi}$  は、 $i$  番目と  $i+1$  番目の面の間の既知の媒質の群屈折率である。 $t_i$  は、 $i$  番目と  $i+1$  番目の面の間の既知の間隔である。 $C$  は、定数項で原点をどこにとるかで変わる。

【0075】なお、本実施例では、干渉縞の検出に光電検出器を用いているが、干渉縞をスリガラス等のスクリーン上に投影し、直接肉眼で観察してもよい。さらに、光電検出器としてTVカメラを用いてCRTで干渉縞を肉眼で観察してもよいし、波形モニター、オシロスコープ等で信号を観察してもよい。

【0076】光電検出器8の前には偏光子を設けて、参照光と測定光の偏光状態をそろえることで干渉縞のコントラストが向上する。

【0077】干渉信号のコントラストを上げたい場合は、その他に、偏光子3の方位角を変化させ、偏光ビームスプリッタ4における反射光と透過光の光量比を変えて参照光と測定光の反射光の強度をそろえることで、干渉縞のコントラストが向上する。精度を上げるためには、参照光と測定光の光量比がほぼ等しくなる、つまり1:20~20:1になるのがよい。そのためには光路中にフィルター等を適宜挿入するかあるいは反射率の異なる反射鏡等を使えばよい。

【0078】なお、レンズ30は省略して、コリメータレンズ2を光軸方向に適宜移動させ、測定面の球心近傍あるいは面頂近傍に測定光が入射させるようにしてもよい。このようにしても面間隔測定は可能である。

【0079】また、レンズ30あるいはコリメータレンズ2は被検物により、適宜交換してもよい。

【0080】測定対象としては、ズームレンズの面間隔、ズーム群間隔等の他に、レンズ面とフィルム面、レンズ面と圧板、レンズ面とCCD撮像面の距離、カメラのファインダーのプリズムの面間隔等を測定してもよい。

\*使用しているのもので、光源の波長に広がりがある。したがって、媒質が波長分散を持つ場合、分散を考慮した群屈折率を使用することで、正確な間隔が求められる。

【0070】群屈折率 $n_g$  は次の式で表される。

【0071】

・・・式1

※が生じる位置をあらかじめ計算しておくとい。

【0073】干渉縞が生じる楔形プリズム52の光路長を反射鏡6の位置に換算した位置 $z_{j+1}$  は次式でおおよそ計算できる。

【0074】

・・・式2

【0081】なお、光学系のアライメントを行う際、光源が不可視光の場合には光源の波長に感度を有する可視化装置を用いるが、一般的に高価なので、光源の波長が近赤外光であれば、市販の安価な液晶モニター付のデジタルカメラあるいはテレビカメラを代わりに用いてもよい。一般的にデジタルカメラの撮像素子の直前には、赤外カットフィルターが組み込まれているが、800nm程度の近赤外光には多少感度があるのでビームが写る。そこで、デジタルカメラにカメラの取り込み画像をリアルタイムで直接液晶モニターに表示できる機能があれば、この機能を利用してビームをモニターすることにより高価な可視化装置を用いなくても光学系の調整が容易に行える。

【0082】以下、本発明に共通して言えることを述べる。

【0083】光電検出器8として、固体撮像素子を用いた場合、光電検出器8の出力はオシロスコープ、波形モニター、テレビディスプレイ等で観察し、干渉信号の強度がピークになる、あるいは干渉縞のコントラストがピークとなる反射鏡の位置を求めて、レンズ面間隔を求めてもよい。

【0084】また、球心近傍あるいは面頂近傍に測定光を入射させるときの許容範囲は、被検面への入射光あるいは射出光の光軸に対する角度で $\pm 15^\circ$ 程度の誤差があってもよい。精密な測定の場合には誤差は $\pm 10^\circ$ 以内にすればよい。なぜなら、測定には光軸近傍で生じる干渉縞をつかえばよいからである。このとき、たいていの場合、干渉縞は同心円状になるがコントラストが比較的に見やすいので都合がよい。

【0085】なお、本発明の面間隔測定器に共通して言えることであるが、光束を被検面に入射させる場合、面頂近傍よりも球心近傍に入射させた方が面形状の乱れ、キズ、ゴミ等の影響を受け難いので、なお望ましい。

【0086】また、本発明は、平面でない光学素子、あるいはそれら光学素子を含む光学系の面間隔の測定に使

えるが、これらの場合、より精度の良い測定を行うために大切なことは、それら被検物へ入射する光束が非平行であることである。これは、光束を被検非平面の球心近傍あるいは面頂近傍に入射させるために有効である。

【0087】また、本発明は、光学素子の加工中の厚さの検査にも使える。光学素子がレンズの場合は、加工中とは、レンズの屈折面の研磨、削り（精研削）中、レンズ1個の心取り加工中（コバの削り中）、レンズ組み立て中の複数のレンズの面間隔調整と偏心調整（2個以上のレンズの心合わせ）、接合レンズ後のレンズ肉厚管理（接合レンズの心合わせ、接合レンズのレンズ厚、接着剤の厚さ、エアースペース接合の場合のエア間隔、両レンズの心合わせ）が含まれる。

【0088】ここで、参照光路中に配置する光路長可変手段51としては、図2のように1次元方向に厚さが変化する楔形プリズム52の他に各種の光学的手段を用いることができる。図3(a)に示した手段は、円周方向に厚さが変化する円弧状プリズム53であり、光軸に平行な回転軸の周りで回転調節することにより光路長を可変にできる。

【0089】図3(b)に示した手段は、1次元方向に厚さが段階的に変化する多段プリズム54であり、このような多段プリズム54を用いることにより、光軸に直交する方向に位置調節することにより光路長を段階的にサンプリングして変化させることができる。

【0090】図3(c)に示した手段は、1次元方向の屈折率 $n$ が図3(c')に示すように連続的に変化するGRINプリズム55であり、このようなGRINプリズム55を用いて、光軸に直交する方向に位置調節することにより光路長を連続的に可変にすることができる。

【0091】図3(d)に示した手段は、透明板57、57'間あるいは一方が透明板57、他方が反射板57'の間に注入装置59により透明液体あるいは流体58を注入して、板57、57'間の間の厚さを調節することにより、その間の光路長を連続的に可変にする液体プリズム56である。

【0092】また、以上の他、印加電圧等を変えることにより屈折率が変わり光路長を可変にできる液晶等の電気光学材料等も光路長可変手段51として用いることができる。

【0093】（実施例2）図4は本発明の実施例2の構成を示す図である。低コヒーレンス光源1から射出した光束は、コリメータレンズ2により平行光となり、偏光子3で直線偏光になる。次に、この直線偏光を第1のPBS41で分割する際、透過光と反射光が略等しい光量になるよう、偏光子3の透過軸の方位角を設定しておく。PBS41で分割された光束の中、反射光は参照光として、反射手段21で反射され、光路長可変手段51を通り、1/2波長板19で偏光面が90°回転され、第2のPBS42を透過して、偏光子（アナライザ）2

2を経て光電検出器8に入射する。光路長可変手段51は実施例1で述べた何れかのものである。

【0094】一方、第1のPBS41で分割された透過光は、第3のPBS43を透過し、1/4波長板10を通り円偏光になる。実施例1と同様のレンズ30を介して1/4波長板10を通った円偏光が被検光学系14に入射する。被検光学系14の一つの面で反射した光束はレンズ30を経て1/4波長板10で直線偏光になり、第3のPBS43で反射され、次いで第2のPBS42で反射され、偏光子22を経て光電検出器8に入射する。

【0095】光路長可変手段51と透過した光（参照光）と、被検光学系14の一つの面で反射された光（測定光）が重なり合い、両者の光路長差が光源のコヒーレンス長の範囲内であれば干渉が生じ干渉信号が観測される。光源1にコヒーレンス長が数十 $\mu\text{m}$ 程度の低コヒーレンス光源を用いれば、参照光と測定光の光路長差がコヒーレンス長の範囲内になったとき干渉信号が観測される。

【0096】次に、被検光学系14の測定すべきもう一方の面の球心近傍又は面頂近傍に向かって光が入射するようレンズ30の位置を選択し、その面からの反射光が光電検出器8に入射するようにしておく。レンズ30の位置は予め光軸追跡等の光学計算で求めておく。そして、光路長可変手段51による光路長を変化させ、干渉信号が得られる位置を求める。

【0097】この位置での光路長の値から最初の面で求めた光路長を差し引き、その差を空中の光路長に換算することで、求めるべき間隔が得られる。

【0098】（実施例3）図5は本発明の実施例3の構成を示す図である。低コヒーレンス光源1から射出した光束は、コリメータレンズ2により平行光となり、偏光子3で直線偏光になる。次に、この直線偏光をPBS4で分割する際、透過光と反射光が略等しい光量になるよう、偏光子3の透過軸の方位角を設定しておく。PBS4で分割された光束の中、透過光は参照光として、ルーフミラーからなる第1の反射鏡61に入射して反対方向にシフトして反射され、その反射光はPBS4を透過して、同じくルーフミラーからなる第2の反射鏡62に入射して反対方向にシフトして反射され、その反射光はPBS4を透過して第1の反射鏡61に2回目の入射をして反対方向にシフトして反射され、その反射光はPBS4を透過して、第2の反射鏡62に2回目の入射して反対方向にシフトして反射され、その反射光はPBS4を透過して第1の反射鏡61に3回目の入射をして反対方向にシフトして反射され、その反射光は1/2波長板19で偏光面が90°回転され、PBS4に入射し、今度はPBS4で反射され、偏光子22を経て光電検出器8に入射する。

【0099】一方、PBS4で分割された反射光は、1

／4波長板10を通り円偏光になる。実施例1と同様のレンズ30を介して1／4波長板10を通った円偏光が被検光学系14に入射する。被検光学系14の一つの面で反射した光束はレンズ30を経て1／4波長板10で直線偏光になり、PBS4を透過し、偏光子22を経て光電検出器8に入射する。

【0100】第1の反射鏡61は両矢符のように位置調整可能で、本発明の光路長可変手段51を構成しており、第1の反射鏡61と第2の反射鏡62との間で複数回反射された参照光と、被検光学系14の一つの面で反射された光（測定光）が重なり合い、両者の光路長差が光源のコヒーレンス長の範囲内であれば干渉が生じ干渉信号が観測される。光源1にコヒーレンス長が数十 $\mu\text{m}$ 程度の低コヒーレンス光源を用いれば、参照光と測定光の光路長差がコヒーレンス長の範囲内になったとき干渉信号が観測される。

【0101】次に、被検光学系14の測定すべきもう一方の面の球心近傍又は面頂近傍に向かって光が入射するようレンズ30の位置を固定し、その面からの反射光が光電検出器8に入射するようにしておく。レンズ30の位置は予め光学計算で求めておく。そして、第1の反射鏡61の位置を移動させて光路長を変化させ、干渉信号が得られる位置を求める。

【0102】この位置での光路長の値から最初の面で求めた光路長を差し引き、その差を空中の光路長に換算することで、求めるべき間隔が得られる。つまり、2面の位置の差が求まる。

【0103】この実施例においては、第1の反射鏡61と第2の反射鏡62との間での往復回数をNとすると、第1の反射鏡61の位置変化量の4N倍の光路長が変化するものである。

【0104】（実施例4）図6（a）は本発明の実施例4の構成を示す図である。低コヒーレンス光源1から射出した光束は、ビーム合成器4'を経て、コリメータレンズ2により平行光となり、その周辺部分の光束は参照光として参照鏡6'に入射する。参照鏡6'は両矢符のように位置調整可能で、本発明の光路長可変手段51を構成しており、光路長が可変に調整されて反射される。また、コリメータレンズ2により平行とされた光束の中心部分は、測定光として実施例1と同様のレンズ30を介して被検光学系14に入射する。参照鏡6'で反射された光束と、被検光学系14の一つの面で反射した光束はコリメータレンズ2を経てビーム合成器4'に入射して反射され、周辺光束にのみ作用するプリズム部材63とレンズ64を経て、光電検出器8に入射して重なり合う。

【0105】参照光と被検光学系14の一つの面で反射された光の光路長差が光源のコヒーレンス長の範囲内であれば干渉が生じ干渉信号が観測される。光源1にコヒーレンス長が数十 $\mu\text{m}$ 程度の低コヒーレンス光源を用い

れば、参照光と測定光の光路長差がコヒーレンス長の範囲内になったとき干渉信号が観測される。

【0106】次に、被検光学系14の測定すべきもう一方の面の球心近傍又は面頂近傍に向かって光が入射するようレンズ30の位置を固定し、その面からの反射光が光電検出器8に入射するようにしておく。レンズ30の位置は予め光学計算で求めておく。そして、参照鏡6'による光路長を変化させ、干渉信号が得られる位置を求める。

【0107】この位置での光路長の値から最初の面で求めた光路長を差し引き、その差を空中の光路長に換算することで、求めるべき間隔が得られる。

【0108】この実施例においては、図6（b）に示すように、コリメータレンズ2により平行にされた光束の上側部分を参照光とし、下側部分を測定光とするように配置を変更してもよい。なお、図6（b）のコリメータレンズ2により左側部分は図6（a）の場合と同様であるので、図示は省いてある。

【0109】（実施例5）図7は本発明の実施例5の構成を示す図である。この実施例は、光路長可変手段51として移動鏡6'を用いた干渉計において、干渉計光路中にこの移動鏡6'の移動量を測定する干渉系を同時に組み込んだ実施例である。

【0110】まず、被検光学系14の面間隔を測定する系を説明する。低コヒーレンス光源1から射出した光束は、コリメータレンズ2により平行光となり、偏光子3で直線偏光になる。次に、この直線偏光をPBS4で分割する際、透過光と反射光が略等しい光量になるよう、偏光子3の透過軸の方位角を設定しておく。PBS4で分割された光束の中、透過光は参照光として、第1の1／4波長板5で円偏光となり、光路長可変手段51を構成する移動鏡6'で反射した後、再度1／4波長板5を通り直線偏光になり、PBS4で反射され、偏光子22を経て光電検出器8に入射する。

【0111】一方、PBS4で分割された反射光は、第2の1／4波長板10を通り円偏光になる。実施例1と同様のレンズ30を介して1／4波長板10を通った円偏光が被検光学系14に入射する。被検光学系14の一つの面で反射した光束はレンズ30を経て1／4波長板10で直線偏光になり、PBS4を透過し、偏光子22を経て光電検出器8に入射する。

【0112】移動鏡6'は両矢符のように位置調整可能で、移動鏡6'で反射された参照光と、被検光学系14の一つの面で反射された光（測定光）が重なり合い、両者の光路長差が光源のコヒーレンス長の範囲内であれば干渉が生じ干渉信号が観測される。光源1にコヒーレンス長が数十 $\mu\text{m}$ 程度の低コヒーレンス光源を用いれば、参照光と測定光の光路長差がコヒーレンス長の範囲内になったとき干渉信号が観測される。

【0113】次に、被検光学系14の測定すべきもう一



方の面の球心近傍又は面頂近傍に向かって光が入射するようレンズ30の位置を固定し、その面からの反射光が光電検出器8に入射するようにしておく。レンズ30の位置は予め光学計算で求めておく。そして、移動鏡6'の位置を移動させて光路長を変化させ、干渉信号が得られる位置を求める。

【0114】この位置での光路長の値から最初の面で求めた光路長を差し引き、その差を空中の光路長に換算することで、求めるべき間隔が得られる。

【0115】ところで、この移動鏡6'の位置を正確に測定するための別の干渉系がPBS4を中心にして設けられており、レーザのような長コヒーレンス光源70から射出した光束は、ミラー71で反射され、PBS4で透過光と反射光に分割される。透過光は測定光として、第1の1/4波長板5で円偏光となり、移動鏡6'で反射した後、再度1/4波長板5を通り直線偏光になり、PBS4で反射され、測長器用光電検出器76に入射する。

【0116】一方、PBS4で分割された反射光は、参照光として、第2の1/4波長板10を通り円偏光になり、ミラー72で反射し、1/4波長板10で直線偏光になり、PBS4を透過し、ルーフミラーからなる反射部材73で反対方向にシフトして反射され、その反射光はPBS4を透過して、第2の1/4波長板10を通り円偏光になり、ミラー74で反射し、1/4波長板10で直線偏光になり、PBS4で反射し、ミラー75で反射して測長器用光電検出器76に入射して測定光と干渉して干渉縞を形成する。この干渉縞をカウントすることにより、移動鏡6'の位置が測定される。

【0117】なお、以上の実施例1~5において、光路中に光ファイバーを用いて、その光ファイバー中に光路を形成するように構成することもできる。

【0118】また、面間隔を既知のものとして、その面間の液晶の屈折率を測定することも当然可能である。

【0119】（実施例6）以上の実施例を用いて被検光学系14中のレンズの材質を判定することがもできる。それを実施例6として説明する。ただし、光路長可変手段51として移動鏡（参照鏡）を用いるものとして説明する。

【0120】図8はこの判定手順を示すフローチャートである。

【0121】まず、ステップST1において、複数のガラス又はプラスチックについて、測定波長域の群屈折率を計算し、表にまとめる。次に、ステップST2において、被検光学系14の測定しようとする光学素子の厚さデータ(d)の入力をする。このこの入力には、厚さデータは設計値又は実測値（例えば、機械的手段による測定値）を入力をする。

【0122】次に、ステップST3において、参照鏡6'を動かして干渉縞が出る位置を探す。そして、ステ

ップST4において、参照鏡6'の移動量から両面間の光路長差( $n_g d$ )を求める。

【0123】次に、ステップST5において、光学素子の厚さ(d)を既知として（ステップST2）、群屈折率( $n_g$ )を求める( $n_g d/d$ )。

【0124】最後に、ステップST6において、測定で求めた群屈折率を持つガラス又はプラスチックをステップST1でまとめた表の中から一致するものを検索することで、被検光学系14のその光学素子のガラス又はプラスチック材料の種類を特定することができる。

【0125】以下に示す実施例7~11は、上記の何れの実施例にも共通する事項であるが、光路長可変手段として移動鏡6'を用いるマイケルソン型干渉計の場合を例にあげて説明する。なお、被検光学系14中の2面a, b間の間隔測定手順については上記の各実施例の説明より明らかなので説明は省く。

【0126】（実施例7）図9は本発明の実施例7の構成を示す図である。この実施例においては、低コヒーレンス光源1が直線偏光の光束を射出するものであり、干渉信号のコントラストを上げるために、光源1自体を光軸周りで回転させ、PBS4に入射する光束の偏光方向を変える。PBS4に入射する光束の偏光方向が変わると、p偏光とs偏光の強度比が変わり、被検光学系14の方へ分岐する測定光と、移動鏡6'の方へ分岐する参照光との強度比が変わる。被検光学系14の反射率が低く、移動鏡6'の反射率が高い場合、測定光の光強度が強く、参照光の光強度が弱くなるように光源1を回転させて偏光の向きを定めると、被検光学系14及び移動鏡6'で反射した光の強度が略等しくなる。逆の場合にも、光源1の向きを変えればよい。

【0127】なお、図9中、符号9は測長器であり、移動鏡6'の移動距離を正確に測定するためのものである。

【0128】この実施例においては、被検光学系14及び移動鏡6'で反射した光強度を略等しくできるため、両光束を重ねて得られる干渉信号のコントラストが向上し、より高精度に面間隔を測定できるようになる。また、偏光板を用いる必要がないため、干渉に使用する光量が大きくなり、より反射率の低い測定面も測定できるようになる。

【0129】（実施例8）図10は本発明の実施例8の構成を示す図である。この実施例においては、低コヒーレンス光源1が直線偏光の光束を射出するものであり、光源1とPBS4との間に配置した1/2波長板19を光軸周りで回転させる。1/2波長板19は光量を落とすことなく入射光の偏光方向を変えるものである。1/2波長板19を $\theta$ だけ回転させると、射出光の偏光方向は $2\theta$ 回転する。実施例7で説明したように、PBS4に入射する光束の偏光方向を変えると測定光と参照光の強度比を変えることができる。そのため、1/2波長板

19を回転させることにより、測定光と参照光の強度比を変えて、被検光学系14及び移動鏡6'で反射した光の強度を略等しくできる。

【0130】この実施例においては、被検光学系14及び移動鏡6'で反射した光強度を略等しくできるため、両光束を重畳して得られる干渉信号のコントラストが向上し、より高精度に面間隔を測定できるようになる。また、偏光板を用いる必要がないため、干渉に使用する光量が大きくなり、より反射率の低い測定面も測定できるようになる。

【0131】なお、以上の実施例7及び実施例8において、直線偏光の光束を射出する低コヒーレンス光源1としては、シングルモード発振の半導体レーザを閾値電流以下で動作したもの、あるいは、パルスレーザが使用できる。シングルモード発振の半導体レーザは一般的に直線偏光した光束を射出する。その半導体レーザを閾値電流以下で動作させれば、コヒーレンス長が短く、かつ、直線偏光の光束が得られる。また、直線偏光のパルスレーザを用いても、同様にコヒーレンス長が短くかつ直線偏光の光束が得られる。また、これらのレーザには可視域の光を射出するものがあり、それを用いれば散乱光等を目視でき、アライメントが容易になる。また、半導体レーザは安価なものが多く、装置を安価にできる。

【0132】（実施例9）図11は本発明の実施例9の構成を示す図である。この実施例においては、移動鏡等の反射手段が反射率可変ミラー6''で構成されているため、この反射率可変ミラー6''で反射して光束合成手段であるPBS4へ戻る光束の光強度を自由に調整することができる。被検光学系14中の測定対象面の反射率が低い場合、反射率可変ミラー6''の反射率も低くすると、被検光学系14及び反射鏡6''で反射した光の強度を略等しくできる。反射率可変ミラー6''としては、例えば“NATURE” Vol. 392, p. 476~479 (1998) に示されているような液晶を用いたものが利用可能である。

【0133】この実施例においては、被検光学系14及び移動鏡6''で反射した光強度を略等しくできるため、両光束を重畳して得られる干渉信号のコントラストが向上し、より高精度に面間隔を測定できるようになる。また、被検光学系14中のより奥のレンズ、すなわち光がより多くの反射面を透過しなければならぬ面を測定する場合には、反射光の強度は弱くなる。それに対して、より手前のレンズ、すなわち光が余り反射面を透過せずすむ面を測定する場合には、反射光の強度は強くなる。このように、測定する面の位置により測定対象面からの反射光の強度が変わるが、それぞれの場合に合わせて反射率可変ミラー6''の反射率を変えれば、どの面でもより最適な強度比とすることができ、より干渉信号のコントラストを向上させることができる。

【0134】この場合に、被検光学系14中の測定対象

の面で反射した反射光がPBS4へ戻って合成される位置での光強度を $I_1$ 、反射率可変ミラー6''で反射した反射光がPBS4へ戻って合成される位置での光強度を $I_2$ としたとき、反射率可変ミラー6''の反射率を、 $0.05 \leq I_1 / I_2 \leq 2.0$

の範囲内で一致させる。

【0135】測定光と参照光の光強度がより一致するため、得られる干渉信号のコントラストがより高くなり、より精度良く面間隔を測定できるようになる。

10 【0136】より望ましくは、

$$0.2 \leq I_1 / I_2 \leq 5$$

の範囲内で一致させる。

【0137】こうすると、さらに測定光と参照光の光強度が一致するため、得られる干渉信号のコントラストがより高くなり、さらに精度良く面間隔を測定できるようになる。

【0138】（実施例10）図12は本発明の実施例10の構成を示す図である。この実施例においては、複数の反射率可変ミラー6''が光軸方向に可動なステージ16上に配置され、独立に反射率を制御することができる。複数の反射率可変ミラー6''の中、光束分割手段であるPBS4からの距離がPBS4から被検光学系14中の測定対象の面aまでの光路長と一番近い位置にある反射率可変ミラー6''aのみ反射率を高くし、それ以外の反射率可変ミラー6''の反射率を低くする。そして、ステージ16を光軸方向に移動して、反射率可変ミラー6''aで反射した反射光と被検光学系14中の測定対象面、例えば面aで反射した反射光とが干渉するように調整する。

30 【0139】次に、PBS4からの距離が、PBS4から面aの隣り、あるいはいくつかの面を隔てた面、例えば面bまでの光路長と一番近い位置にある反射率可変ミラー6''bのみ反射率を高くし、それ以外の反射率可変ミラー6''の反射率を低くする。そして、面aの場合と同様に、ステージ16を光軸方向に移動して、反射率可変ミラー6''bで反射した反射光と面bで反射した反射光とが干渉するように調整する。

【0140】このように、反射率を高くして参照光を反射させる反射率可変ミラー6''を変えて、さらにステージ16を移動させるため、ミラーが一枚だけの場合に比べて移動させる範囲が狭くなり、装置が小型化できる。また、移動させる時間も短縮でき、測定時間が短くなる。

【0141】（実施例11）図13は本発明の実施例11の構成を示す図である。この実施例においては、光束分割手段であるPBS4と光路長変化手段である移動鏡6'との間の光軸上に、透明媒体であるガラス板17を配置する。透明媒体としてはガラス板以外の液体、固体であってもよい。低コヒーレンス光源1に波長幅がある場合、レンズ等を透過すると、波長により屈折率が異なる



るために、波長毎に光路長も異なることになる。一方、移動鏡6'で反射する参照光はレンズを透過しない。そのため、特に被検光学系14の奥の面を測定する場合、測定光はより多くのレンズを透過するため、波長による光路長差が大きくなるのに対して、参照光は波長による光路長差がほとんど生じない。このとき、移動鏡6'を動かしたときに干渉信号が生じる範囲が広くなり、最もコントラストが高くなる位置が求め難くなる。また、コントラストも低下する。

【0142】ここで、PBS4と移動鏡6'との間にガラス板17を配置すれば、参照光にも波長による光路長差が生じる。測定光に生じた光路長差と同程度の光路長差が生じるようなガラス板を配置すれば、測定光と参照光との各波長における光路長が同時に等しくなり、干渉信号が生じる範囲が狭くなり、コントラストも向上する。

【0143】このように、参照光路中に波長分散補償手段としてのガラス板17を配置すると、干渉信号が生じる移動鏡6'の移動範囲が狭くなり、コントラストも向上するため、被検光学系14の奥の面を測定する場合でも精度低下を防ぎ、精度良く測定することができる。

【0144】この場合に、ガラス板17が以下の条件式を満たすことが望ましい。

$$【0145】0.5 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d / (L_S - L_L) < 2$$

ただし、

d : 透明媒体の厚さ

n(λ) : 任意の波長λにおける透明媒体の群屈折率

λ<sub>S</sub> : 光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長λ<sub>0</sub>での光強度をI<sub>0</sub>としたとき、光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より短波長側の波長

λ<sub>L</sub> : 光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より長波長側の波長

L<sub>S</sub> : 測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長λ<sub>S</sub>における光路長の和

L<sub>L</sub> : 測定対象の面より入射側にある被検物中のレンズの光軸上での波長λ<sub>L</sub>における光路長の和

である。

【0146】このとき、測定光に生じる波長による光路長差L<sub>S</sub> - L<sub>L</sub>と、参照光にガラス板17によって生じさせる光路長差(n(λ<sub>S</sub>) - n(λ<sub>L</sub>))・dとが、半分から2倍の範囲内で一致している。そのため、測定光と参照光との各波長における光路長を有効に一致させることができる。

【0147】なお、ガラス板17として、例えばS-B SL7(オハラ製)を用いれば、光が厚さ20mmのガラス板中を往復した場合には、波長833nmと858nmでは約32μmの光路長差が生じる。また、ガラス板の厚さが50mmの場合には、約80μmの光路長差が生じる。他のガラス、例えばS-TIM2(オハラ

製)では、ガラス板の厚さが20mmの場合には、光路長差は約74μm、ガラス板の厚さが50mmの場合には、光路長差は約188μmとなる。

【0148】このように、ガラスの厚さ、ガラスの種類を変えれば、ガラス板17によって生じさせる光路長差を変えることができ、上記条件式を満足させることができる。

【0149】このように、上記条件式を満足するガラス板17を参照光路中に配置すると、干渉信号が生じる移動鏡6'の移動範囲が狭くなり、コントラストも向上するため、被検光学系14の奥の面を測定する場合でも精度低下を防ぎ、精度良く測定することができる。

【0150】また、ガラス板17が以下の条件式を満たすことが望ましい。

$$【0151】0.8 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d / (L_S - L_L) < 1.25$$

このとき、測定光に生じる波長による光路長差L<sub>S</sub> - L<sub>L</sub>と、参照光にガラス板17によって生じさせる光路長差(n(λ<sub>S</sub>) - n(λ<sub>L</sub>))・dとが、上記の場合よりもさらに良く一致している。そのため、測定光と参照光との各波長における光路長をさらに有効に一致させることができる。

【0152】このように、上記条件式を満足するガラス板17を参照光路中に配置すると、干渉信号が生じる移動鏡6'の移動範囲がさらに狭くなり、コントラストもさらに向上するため、被検光学系14の奥の面を測定する場合でもさらに精度低下を防ぎ、精度良く測定することができる。

【0153】また、ガラス板17が以下の条件式を満たすことが望ましい。

$$【0154】0.8 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d / ((L_{Sa} - L_{La}) / 2) < 1.25$$

ただし、

d : 透明媒体の厚さ

n(λ) : 任意の波長λにおける透明媒体の群屈折率

λ<sub>S</sub> : 光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長λ<sub>0</sub>での光強度をI<sub>0</sub>としたとき、光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より短波長側の波長

λ<sub>L</sub> : 光強度が0.5I<sub>0</sub>となる波長のうちλ<sub>0</sub>より長波長側の波長

L<sub>Sa</sub> : 被検物中の全レンズの光軸上での波長λ<sub>S</sub>における光路長の和

L<sub>La</sub> : 被検物中の全レンズの光軸上での波長λ<sub>L</sub>における光路長の和

このとき、ガラス板17により生じさせる波長による光路長差は、ガラス板17を配置しない場合の被検光学系14中の一番奥の面で反射した測定光に生じる波長による光路長差の約半分となる。したがって、被検光学系14中の中間付近の面を測定する場合には、測定光と参照光に生じる波長による光路長差が略一致する。また、被

検光学系14中の手前の面あるいは奥の面を測定する場合には、測定光と参照光とに生じる波長による光路長差の差は、ガラス板17を配置しない場合の被検光学系14中の一番奥の面で反射した測定光に生じる波長による光路長差の約半分となり、その中間の面では測定光と参照光とに生じる波長による光路長差の差がそれ以下になる。

【0155】この配置だと、被検光学系14中のどの面を測定する場合でも、測定光と参照光とに生じる波長による光路長差の差を、ガラス板17を配置しない場合の被検光学系14中の一番奥の面で反射した測定光に生じる波長による光路長差の約半分以下とすることができ、どの面においてもコントラストの高い、移動鏡6'の移動に対して発生する範囲の狭い干渉信号を得ることができ、常に測定精度の低下を有効に防ぎ、精度良く測定することができる。

【0156】また、ガラス板17が以下の条件式を満たすことが望ましい。

$$【0157】0.5 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d / ((L_{Sa} - L_{La}) / 2) < 2.0$$

このとき、ガラス板17により生じさせる波長による光路長差は、ガラス板17を配置しない場合の被検光学系14中の一番奥の面で反射した測定光に生じる波長による光路長差の約半分となり、かつ、上記の場合に比べてより正確に半分となる。したがって、被検光学系14中の手前の面、あるいは奥の面を測定する場合に、測定光と参照光とによって生じる波長による光路長差の差はより正確に、ガラス板17を配置しない場合の被検光学系14中の一番奥の面で反射した測定光に生じる波長による光路長差の約半分となり、その中間の面では測定光と参照光とに生じる波長による光路長差の差がそれ以下になる。

【0158】この配置だと、被検光学系14中のどの面を測定する場合でも、測定光と参照光とに生じる波長による光路長差の差を、より正確に、ガラス板17を配置しない場合の被検光学系14中の一番奥の面で反射した測定光に生じる波長による光路長差の約半分以下とすることができ、特に、一番手前、あるいは一番奥の面でもよりコントラストの高い、移動鏡6'の移動に対して発生する範囲の狭い干渉信号を得ることができ、さらに常に測定精度の低下を有効に防ぎ、精度良く測定することができる。

【0159】また、ガラス板17が以下の条件式を満たすことが望ましい。

$$【0160】|(n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d - (L_S - L_L)| < 100 [\mu m]$$

このとき、測定光に生じる波長による光路長差 $L_S - L_L$ と、参照光にガラス板17によって生じさせる光路長差 $(n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d$ とが、 $100 \mu m$ 以内で一致している。そのため、測定光と参照光との各波

長における光路長を有効に一致させることができる。

【0161】この配置だと、干渉信号が生じる移動鏡6'の移動範囲が狭くなり、コントラストも向上するため、被検光学系14中の奥の面を測定する場合でも、より測定精度の低下を防ぎ、精度良く測定することができる。

【0162】また、ガラス板17が以下の条件式を満たすことが望ましい。

$$【0163】|(n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d - (L_S - L_L)| < 30 [\mu m]$$

このとき、測定光に生じる波長による光路長差 $L_S - L_L$ と、参照光にガラス板17によって生じさせる光路長差 $(n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d$ とが、上記の場合よりもさらに良く一致している。そのため、測定光と参照光との各波長における光路長をさらに有効に一致させることができる。

【0164】この配置だと、干渉信号が生じる移動鏡6'の移動範囲がさらに狭くなり、コントラストもさらに向上するため、被検光学系14中の奥の面を測定する場合でも、さらに測定精度の低下を防ぎ、精度良く測定することができる。

【0165】また、以上において、 $\lambda_S$ を光強度が $0.2 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より短波長側の波長、 $\lambda_L$ を光強度が $0.2 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より長波長側の波長とすると、より望ましい。

【0166】 $\lambda_S$ 及び $\lambda_L$ が光強度が $0.2 I_0$ となる波長であり、波長による光路長差を見積もる際の波長範囲がより広い。そのため、中心波長 $\lambda_0$ から離れた短波長側、長波長側での光路長差も考慮でき、光源から射出される光に含まれるより広い波長範囲で光路長差を揃えることができ、よりコントラストの良い干渉信号でより精度良く測定できる。

【0167】また、 $\lambda_S$ を光強度が $0.1 I_0$ となる波長のなか $\lambda_0$ より短波長側の波長、 $\lambda_L$ を光強度が $0.1 I_0$ となる波長のなか $\lambda_0$ より長波長側の波長とすると、さらに望ましい。

【0168】 $\lambda_S$ 及び $\lambda_L$ が光強度が $0.1 I_0$ となる波長であり、波長による光路長差を見積もる際の波長範囲が上記の場合よりさらに広い。そのため、中心波長 $\lambda_0$ からさらに離れた短波長側、長波長側での光路長差も考慮でき、光源から射出される光に含まれるさらに広い波長範囲で光路長差を揃えることができ、さらにコントラストの良い干渉信号で精度良く測定できる。

【0169】また、以上において、透明媒体は複数の透明媒体からなっているてもよい。

【0170】この場合は、ガラス板17は複数のガラス板からなる。そのため、組み合わせるガラス板の数を変えれば全体の厚さ $d$ を変えることができ、参照光に与える波長による光路長差を変えることができる。また、アップ数の異なる様々な種類のガラスを組み合わせれば、

同じ厚さでも参照光に与える波長による光路長差を変えることができる。したがって、測定光に波長による光路長差が余り生じない被検光学系14の手前側の面を測定する際には、ガラス板17を挿入しない、あるいは1枚だけ挿入する、あるいはアッペ数が大きく波長による光路長差が余り生じないガラス板を使用する等して、測定光と参照光の波長による光路長差を揃えることができる。一方、測定光に波長による光路長差が大きく生じる被検光学系14の奥側の面を測定する際には、ガラス板の枚数を増やして全体の厚みを厚くする、あるいはアッ

ペ数が小さく波長による光路長差が大きく生じるガラス板を一部に使用する等して、測定光と参照光の波長による光路長差を揃えることができる。

【0171】このように、複数のガラス板を、枚数、ガラスの種類を変えて組み合わせ使用することができ、参照光に与える波長による光路長差を様々に変えることができる。そのため、被検光学系14中の様々な面を測定する際に、測定光にはそれぞれ異なる量の波長による光路長差が生じるが、ガラス板17をそれぞれの場合に最適な組み合わせとして、どの面の測定でも参照光と測定光に生じる波長による光路長差を最適に合わせることができ、よって、どの面の測定時でも、コントラストの

良い干渉信号を得て、精度良く測定することができる。

【0172】(実施例12)図14は本発明の実施例12の構成を示す図である。この実施例は、樹脂薄膜非球面レンズ88の製造中に、樹脂薄膜89の厚さを測定す\*

$$|Z_b - Z_c| / n_g = t$$

から、樹脂薄膜89の厚さ $t$ を求めることができる。

【0177】ここで、 $n_g$  は、樹脂薄膜89の群屈折率※30

$$n_g = n_p - \lambda (dn_p / d\lambda)$$

で定義される。ここで、 $n_p$  は樹脂薄膜89の屈折率(位相屈折率)である。

【0178】同様に、非球面レンズ88の被検面aで反射した光 $m$ を用いることで、非球面レンズ88の厚さも知ることができる。

【0179】なお、以上の測定を自動化するには、次のようにしてもよい。

【0180】モニター86で非球面レンズ88を観察しながら干渉計の光軸中心に調整した後、移動鏡6'をモニターで一方方向に動かしつつ、そのときに光電検出器8で得られる干渉縞をメモリー95に順次取り込んで行く。そして、 $Z_b$ 、 $Z_c$ を含む範囲を移動鏡6'が走査したところで、画像処理装置96で干渉縞を解析し、強度又は干渉縞コントラストのピークを求め、 $Z_b$ 、 $Z_c$ を求め、式3から厚さ $t$ を求める。その結果をテレビモニター97に表示する。

【0181】なお、樹脂薄膜89の厚さ $t$ が既知の場合は、逆に、式3から樹脂薄膜89の群屈折率 $n_g$ を求めてもよい。この考え方は、本発明の他の実施例にも適用

\*る干渉計の例である。図中、90は、樹脂薄膜89の型であり、88は、樹脂薄膜89の基板となる非球面レンズである。低コヒーレンス光源(この場合は、SLD)1から出た光はハーフプリズム84で下方に反射され、ハーフミラー91で反射光1(点線)と透過光 $m$ (実線)に分けられる。透過光 $m$ はレンズ30を經由して、被検面bで反射される。そして、順に、ハーフミラー91、ハーフプリズム84、ハーフプリズム92を透過し、ハーフミラー93で反射され、ハーフプリズム92で右方向に反射され、光量調整用フィルター94を通過して光電検出器8に入射する。

【0173】一方、反射光1(点線)は、ハーフミラー91で反射された後、順に、ハーフプリズム84、ハーフプリズム92、ハーフミラー93を透過し、移動鏡6'で反射され、ハーフミラー93を透過し、ハーフプリズム92で反射されて光 $m$ と共に光電検出器8に入射する。

【0174】このとき、移動鏡6'を $z$ 方向に動かして、光 $m$ と光1の光路長が略低コヒーレンス光源1の可干渉距離以内になると、光 $m$ と光1は干渉し、光電検出器8には干渉光が入射することになる。この干渉光強度又は干渉縞のコントラストが最大になる移動鏡6'の位置を $Z_b$ とする。

【0175】さらに、被検面cで反射した光 $m$ についても同様に干渉縞強度又は干渉光強度が最大になる移動鏡6'の位置を $Z_c$ とする。

【0176】

・・・式3

※であり、前記の式1：

・・・式1

できる。

【0182】ここで、光量調整用フィルター94はゴーストを避けるために光路に対して斜めに配置することが望ましい。その角度は光軸と垂直な面に対し、1°以上、できれば5°以上とするのがよい。

【0183】この図14の特徴の一つとして、参照光路と測定光路とが略一方方向に並んでいるため、装置全体のスペースを取らないことがある。同一方向とは、光軸の曲がり角が20°以内と言うことである。

【0184】また、 $m$ の光路と1の光路とで、ガラス、樹脂等で生ずる色収差の量が異なると、2つの光束の可干渉性が低下する。そこで、2つの光路で生ずる色収差の量を揃えるべく、ハーフミラー93、ハーフミラー91等の厚さを選ぶとよい。あるいは、色収差を揃えるために、一方の光路に、ガラス、樹脂等の平行平板、プリズム、レンズ等を挿入するとよい(実施例11参照)。この考え方は、本発明の他の実施例にも適用できる。

【0185】この図14の例で、被検物は樹脂薄膜89に限らず、カメラズームレンズ、デジタルカメラズーム

レンズの面間隔、ズーム群間隔、レンズ厚、レンズ面とフィルム圧板の距離、撮像素子との距離、液晶ディスプレイとプリズム等の光学素子の間隔等を測定するのに用いることができることは言うまでもない。

【0186】さらには、特開平9-281430号で開示された自由曲面プリズムとLCDからなる画像表示装置の自由曲面プリズムとLCDの間隔等を測定するのに用いることができる。

【0187】また、人体、動物の眼あるいは皮膚、植物等、生体の媒質境界面間の距離を測定することもできる。人体を対象とする場合には、光源として生体観察用の低出力光源を用いる。

【0188】また、本発明は、光学素子の加工中の厚さの検査にも使える。光学素子がレンズの場合は、加工中とは、レンズの屈折面の研磨、削り（精研削）中、レンズ1個の心取り加工中（コバの削り中）、レンズ組み立て中の複数のレンズの面間隔調整と偏心調整（2個以上のレンズの心合わせ）、接合レンズ後のレンズ肉厚管理（接合レンズの心合わせ、接合レンズのレンズ厚、接着剤の厚さ、エアースペース接合の場合のエア間隔、両レンズの心合わせ）が含まれる。

【0189】また、本発明に共通して言えることであるが、測定対象としては既に述べた対象に加えて、各種機械、すなわち光学素子の製造装置、光学装置の製造装置等、光学関連製造装置、あるいは光学以外の機械の面間隔なども含まれる。光学素子、光学系、光学装置、各種機械を含めて、特に面形状が非平面の場合に本発明は有効である。面形状が非球面の場合には、光束入射点近傍での接球面あるいは近似球面に対して、これまでの説明を適用すればよい。たとえば、“球心”としては接球面あるいは近似球面の球心を当てはめればよい。

【0190】（実施例13）図15は本発明の実施例13の構成を示す図である。この実施例は、コヒーレンス長の短い低コヒーレンス光源1を用いた非球面500をサンプリング測定する装置の例である。

【0191】低コヒーレンス光源1から出た光束はレンズ509、コリメータレンズ2を経て平行光束になり、ビームスプリッタ510で2つに分割され、反射された測定光はレンズアレー502を通り、非球面500に入射する。

【0192】一方、ビームスプリッタ510を透過した参照光は反射鏡6に入射し、反射され、両光束は再度ビームスプリッタ510で合成され、別のレンズアレー507を経て干渉縞を2次元光電検出器8'上に形成する。

【0193】まず、非球面500の一点をレンズアレー502の集光面（図の点線）に一致するように非球面500を上下に動かし調整する。

【0194】次に、その1点で干渉縞が生ずるように反射鏡6の位置を調整する。図15では、点Aで生ずるも

のとした。

【0195】次に、反射鏡6を固定し、非球面500を上方へ移動させつつ、干渉縞の生ずる位置を2次元光電検出器8'で検出していく。非球面500で反射された光束と反射鏡6で反射された光束の光路長が略等しいときに、2次元光電検出器8'に干渉縞が生ずる。したがって、非球面500を動かしつつ、非球面500の位置を読み取って、かつ、2次元光電検出器8'で干渉縞の生ずる位置を検出すれば、非球面500の形状がレンズアレー502のピッチのサンプリング間隔で求まることになる。

【0196】図15中、503は非球面レンズ501の非球面500を駆動する装置及び非球面500の位置を検出する装置であり、除振台505上に載っている。

【0197】2次元光電検出器8'の干渉縞の強度、位相、非球面500の位置は計算機504に入力され、モニター86に非球面形状が表示される。

【0198】この実施例において、レンズアレー502、507はDOE（回折光学素子）で作ってもよいし、ガラスあるいはプラスチックのモールドで作ってもよく、また、不均質レンズを多数並べたものでもよい。

【0199】また、非球面500を駆動装置503で駆動して動かすことで、非球面形状を求める代わりに、非球面500を固定し、駆動機構508で反射鏡6を動かしつつ、2次元光電検出器8'で干渉縞を検出し、非球面形状を求めてもよい。このとき、レンズアレー502は干渉縞の出る非球面500の部分に集光面がくるように駆動装置506で適宜位置を調整すればよい。駆動装置506は計算機504で制御される。

【0200】また、非球面500又は反射鏡6の位置を動かしつつ、2次元光電検出器8'上の干渉縞の強度と生ずる位置を検出するとき、非球面500又は反射鏡6を光路長が変化する方向に振動させつつ動かし、振動の周波数で変化する2次元光電検出器8'の出力信号のみ取り出して増幅すれば、干渉縞の検出感度が向上するので、なお良い。

【0201】レンズ509はシリンドリカルレンズで、低コヒーレンス光源1に半導体レーザ等を用いたときに生ずる非点収差を補正するものである。シリンドリカルレンズ509は必要時に用いられよく、低コヒーレンス光源1によっては用いなくてもよい。

【0202】低コヒーレンス光源1としては、LED、SLD、ハロゲンランプ等の白色光源にフィルターを組み合わせたもの等が用いられる。

【0203】図15の装置は、まず、非球面500の代わりに平面を測定してみて、そのときの計算機504の出力が平面になるように誤差の補正を行うとよい。この誤差の補正値は、計算機504のプログラム中に表形式で持っておけばよい。

【0204】この実施例の装置は、従来の接触針を用い

た非球面形状測定機に比べて高速に測定でき、非接触なので測定対象を傷を付けないメリットがある。

【0205】この測定装置は、非球面レンズ、非球面ミラー、金型、その他、自由曲面形状を用いた光学素子、及び、その金型、自動車の曲面等、各種曲面の測定に用いることができる。

【0206】(実施例14) 図16は本発明の実施例14の構成を示す図である。この実施例は、実施例13の低コヒーレンス光源1として、ハロゲンランプ511と拡散板512とからなる面積体光源513を用いた例である。このため、レンズアレー502、507が不要となり、製作しやすいメリットがある。

【0207】他の動作は実施例13と同様であるが、反射鏡6又は非球面500を動かしつつ、非球面500の形状を測定していくとき、レンズ514、515と2次元光電検出器8'を連動して駆動装置516、517、518によって矢印方向に動かし、測定点と拡散板512と2次元光電検出器8'とが光学的に共役になるように、かつ、非球面500の2次元光電検出器8'への結像倍率が変わらぬよう、動かす点が異なる。ただし、非球面500の2次元光電検出器8'への結像倍率の変化は計算機504で補正できるので、レンズ514のみを動かすだけでもよい。

【0208】(実施例15) 図17は本発明の実施例15の構成を示す図である。この実施例は、光ファイバー\*

$$\Delta - L \leq d \cdot n_g \leq \Delta + L$$

のときだけ2つの光は干渉し、

$$d \cdot n_g \doteq \Delta$$

のとき、光電検出器8の干渉光の強度は最大値をとる。ただし、Lは、低コヒーレンス光源1のコヒーレンス長である。Lは、半値全幅で100μm以下の光源1を用※

$$d = \Delta / n_g$$

によってdを求めれば、レンズ530の厚さを知ることができる。

【0214】図17中の549は信号処理回路で、計算★

$$n_g = \Delta / d$$

によってn<sub>g</sub>を求めることもできる。上記では、余り高精度を望まないのであれば、n<sub>g</sub>の代わりに位相屈折率n<sub>p</sub>を用いてもよい。

【0216】図17の例は、レンズ厚に限らず、発明の他の実施例同様、各種面間隔、屈折率等の物理特性の測定に用いることができる。

【0217】図17の例では、光ファイバーを用いて干渉計を構成しているが、光ファイバーの代わりに、他の実施例のように、ハーフプリズム、ビームスプリッター等を用いて等価な干渉計を構成してもよい。

【0218】なお、図17の例で、低コヒーレンス光源1と光電検出器8とは入れ換えた構造としてもよい。図18はそのような1例で、レンズ543、544からなる光路長を変化させる部材を被検レンズ530の出射光

\*を用いた干渉計により、研磨皿550に貼り付けられた加工中のレンズ530の厚さを測定する装置の例である。

【0209】低コヒーレンス光源1から出た光は集光レンズ540で集光され、シングルモード光ファイバー541に入射する。光ファイバー541に導入された光は、光ファイバースプリッター542で光路mと光路1に分かれる。光路1にはレンズ543と544が配置され、光路mに対してΔだけ光路が長くなるようにしてある。レンズ543と544の間隔Pを変化させることで、このΔの値を変えることができる。光路1、mの光は光ファイバースプリッター545で一つに合成され、シングルモード光ファイバー546、レンズ30を経由して、加工中のレンズ530に入射する。

【0210】レンズ30を光軸方向へ動かすことで、a面又はb面の球心近傍又は表面近傍に光を集光させることができる。レンズ30はなくてもよいが、用いる場合、その位置は予め光学計算で求めておく。

【0211】レンズ530で反射した光は、レンズ30を通り、光ファイバースプリッター547を経由して、レンズ548を通り、光電検出器8に入射する。

【0212】レンズ530の厚さをd、群屈折率をn<sub>g</sub>とする。光路mを通りb面で反射した光と光路1を通りa面で反射した光との干渉を考えると、

$$\dots \text{式4}$$

$$\dots \text{式5}$$

※いるのがよい。望ましくは、50μm以下の方がよい。

【0213】したがって、Pを変化させつつ、光電検出器8の信号強度を検出し、最大になったとき、

$$\dots \text{式6}$$

★機504でデータの処理を行い、その結果をモニター86に表示する。

【0215】上記と逆に、厚さdが既知ならば、

$$\dots \text{式7}$$

路上に配置してある。その場でも、図17の例で述べた式4～式7は同様に適用できる。

【0219】この場合も、光ファイバーの代わりに、他の実施例のように、ハーフプリズム、ビームスプリッター等を用いて等価な干渉計を構成してもよい。

【0220】また、光路長を変化させる部材を、被検レンズ530の入射側、出射側の両方に配置してもよい。

【0221】(実施例16) 内視鏡、硬性鏡用TVカメラ等でオートフォーカスを実現する場合、物体までの距離をいかに測定するかが問題であった。必要な照明光強度で距離を推定する方法も提案されているが精度が悪い。

【0222】そこで、本発明による低コヒーレンス光源と干渉計を用いた距離測定系を適用することにする。

【0223】図19は本発明の実施例16の構成を示す図である。この実施例は、TVカメラで観察する硬性鏡のオートフォーカスに適用した例である。

【0224】硬性鏡観察系は、硬性鏡600とその接眼部に装着されるテレビカメラ603とTVモニター604からなり、テレビカメラ603は撮影レンズ601と撮像素子であるCCD602からなり、テレビカメラ603のフォーカシングはモータ605で撮影レンズ601を光軸方向に移動することにより行われる。

【0225】測距系は、低コヒーレンス光源1として赤外線発光のSLDと、低コヒーレンス光源1を駆動する電源610と、ハーフプリズム84と、硬性鏡600の接眼部と撮影レンズ601の間に配置された赤外光反射コート付きプリズム85と、移動鏡6'と、光電検出器8とからなり、低コヒーレンス光源1から射出した光束は、ハーフプリズム84で分割され、反射光は参照光として移動鏡6'で反射した後、再度ハーフプリズム84に入射し、今後は透過して光電検出器8に入射する。

【0226】一方、ハーフプリズム84を透過した測定光は、赤外光反射コート付きプリズム85で反射され、硬性鏡600を経て物体Oを照射し、物体Oからの反射光は、硬性鏡600を逆に経て赤外光反射コート付きプリズム85で反射され、ハーフプリズム84で反射され、光電検出器8に入射する。

【0227】物体Oまでの距離をSとすると、図示の距離S2、S3、S4が、 $S+S2+S3=S4$

の関係を満たす位置に移動鏡6'が位置するとき、光電検出器8の干渉光の強度は最大値となるので、距離検出回路611でそのときの物体Oまでの距離Sを検出し、駆動回路612を介してその距離Sに対応するようにモータ605で撮影レンズ601を移動させて、フォーカシングを行うことができる。

【0228】ところで、本発明の全般に言えることであるが、光源1として、SLD、LED等を用いる場合、赤外光を発するものを用いれば、反射防止コート済みレンズ面でも反射率が高く、ノイズの少ない測定ができるのでよい。

【0229】また、反射鏡6あるいは移動鏡6'の位置あるいは移動量を知るには、レーザ測長器を用いると、高精度で反射鏡6あるいは移動鏡6'の位置又は移動量を知ることができるのでよい。

【0230】また、同様の目的でレーザ測長器の代わりに、商品名ソニーマグネスケール、あるいはガラススケール等を用いれば、安価になるのでよい。あるいは、物差し、ノギス、マイクロメータ等を用いてもよい。

【0231】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明の面間隔測定方法及び装置によって、レンズ、ミラー、プリズム等の光学素子の面間隔や面位置が、非破壊、非

接触で高精度な測定が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の面間隔測定方法の基本的な構成を示す図である。

【図2】本発明の実施例1の構成を示す図である。

【図3】光路長可変手段の変形例を示す図である。

【図4】本発明の実施例2の構成を示す図である。

【図5】本発明の実施例3の構成を示す図である。

【図6】本発明の実施例4の構成を示す図である。

【図7】本発明の実施例5の構成を示す図である。

【図8】本発明の実施例6の判定手順を示すフローチャートである。

【図9】本発明の実施例7の構成を示す図である。

【図10】本発明の実施例8の構成を示す図である。

【図11】本発明の実施例9の構成を示す図である。

【図12】本発明の実施例10の構成を示す図である。

【図13】本発明の実施例11の構成を示す図である。

【図14】本発明の実施例12の構成を示す図である。

【図15】本発明の実施例13の構成を示す図である。

【図16】本発明の実施例14の構成を示す図である。

【図17】本発明の実施例15の構成を示す図である。

【図18】本発明の実施例15の変形例の構成を示す図である。

【図19】本発明の実施例16の構成を示す図である。

【符号の説明】

1…低コヒーレンス光源

2…コリメータレンズ

3…偏光子（ポラライザ）

4…偏光ビームスプリッタ（PBS）

4'…ビーム合成器

5…1/4波長板

6…反射鏡

6'…移動鏡

6''…反射率可変ミラー

6''a、6''b…反射率可変ミラー

8…光電検出器

8'…2次元光電検出器

9…測長器

10…1/4波長板

14…被検光学系

16…ステージ

19…1/2波長板

21…反射手段

22…偏光子（アナライザ）

30…レンズ

41、42、43…PBS

51…光路長可変手段

52…楔形プリズム

53…円弧状プリズム

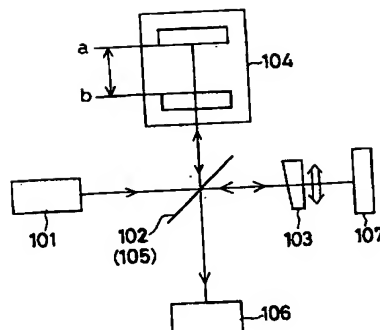
54…多段プリズム

39

55…GRINプリズム  
 56…液体プリズム  
 57、57'…透明板(反射板)  
 58…透明液体あるいは流体  
 59…注入装置  
 61…ルーフミラー(第1の反射鏡)  
 62…ルーフミラー(第2の反射鏡)  
 63…プリズム部材  
 64…レンズ  
 70…長コヒーレンス光源  
 71、72、74、75…ミラー  
 76…測長器用光電検出器  
 73…ルーフミラー(反射部材)  
 17…ガラス板  
 84…ハーフプリズム  
 85…赤外光反射コート付きプリズム  
 86…モニター  
 88…非球面レンズ  
 89…樹脂薄膜  
 90…樹脂薄膜の型  
 91…ハーフミラー  
 92…ハーフプリズム  
 93…ハーフミラー  
 94…光量調整用フィルター  
 95…メモリー  
 96…画像処理装置  
 97…テレビモニター  
 101…低コヒーレンス光源  
 102…光束分割手段  
 103…光路長可変手段  
 104…被検物  
 105…光束合成手段  
 106…光電検出器  
 107…反射鏡  
 500…非球面

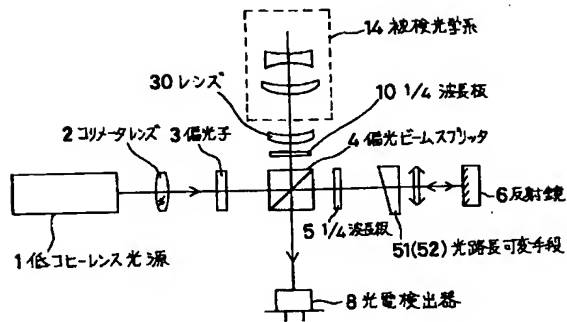
502…レンズアレー  
 503…駆動・位置検出装置  
 504…計算機  
 505…除振台  
 506…駆動装置  
 507…レンズアレー  
 508…駆動機構  
 509…シリンドリカルレンズ  
 510…ビームスプリッター  
 10 511…ハロゲンランプ  
 512…拡散板  
 513…面積体光源  
 514、515…レンズ  
 516、517、518…駆動装置  
 530…レンズ(加工中)  
 540…集光レンズ  
 541…シングルモード光ファイバー  
 542…光ファイバースプリッター  
 543、544…レンズ  
 20 545…光ファイバースプリッター  
 546…シングルモード光ファイバー  
 547…光ファイバースプリッター  
 548…レンズ  
 549…信号処理回路  
 550…研磨皿  
 600…硬性鏡  
 601…撮影レンズ  
 602…CCD  
 603…テレビカメラ  
 30 604…TVモニター  
 605…モータ  
 610…電源  
 611…距離検出回路  
 612…駆動回路  
 ○…物体

【図1】

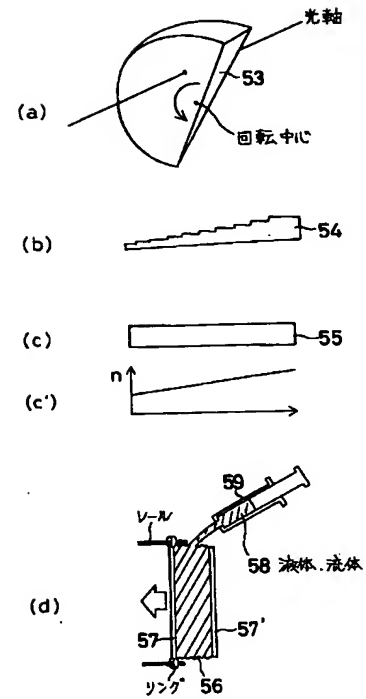




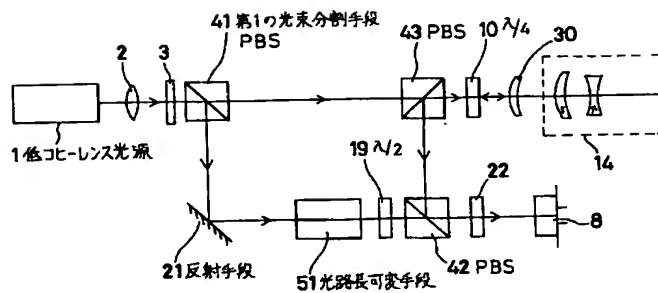
【図2】



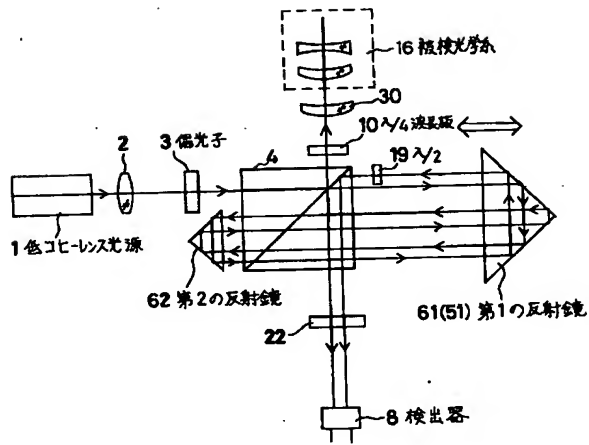
【図3】



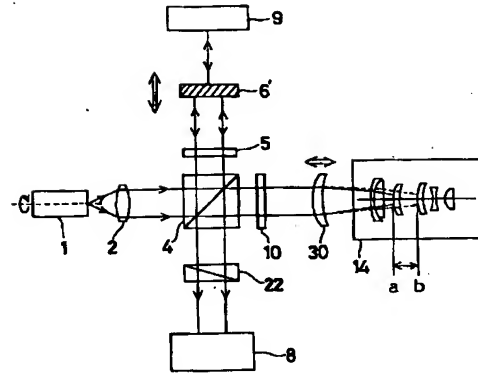
【図4】



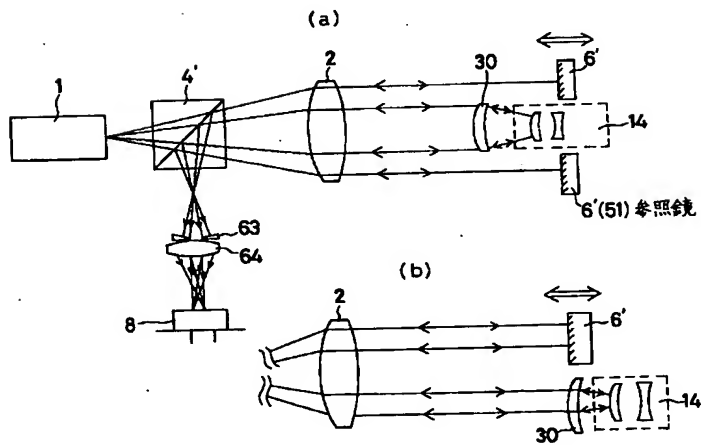
【図5】



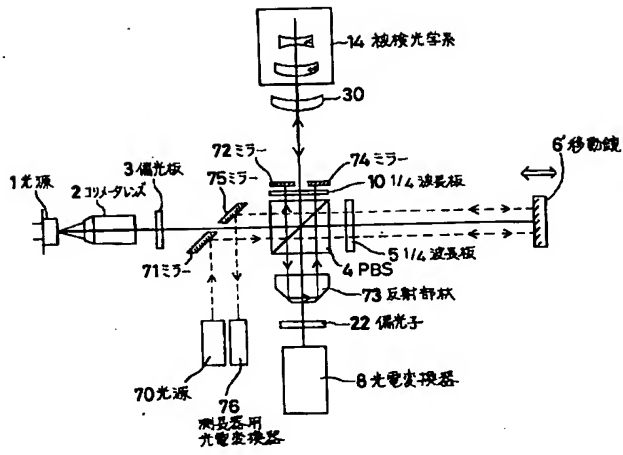
【図9】



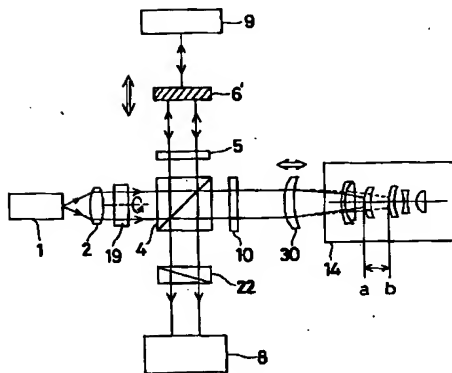
【図6】



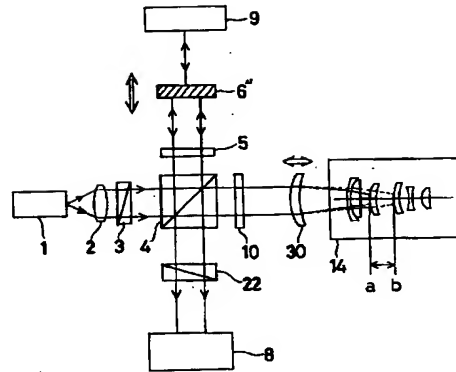
【図7】



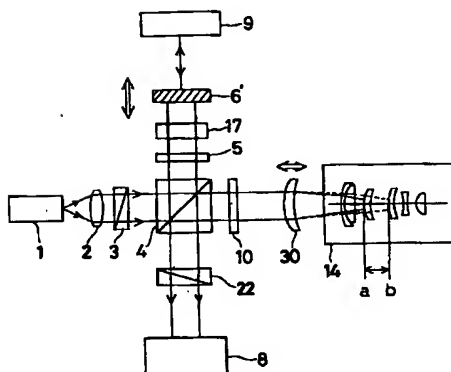
【図10】



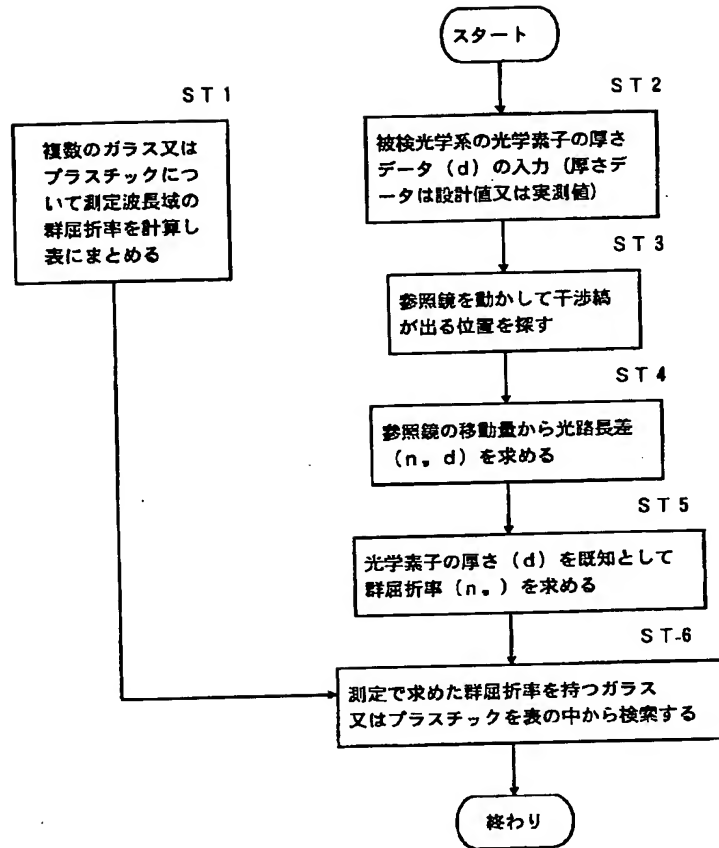
【図11】



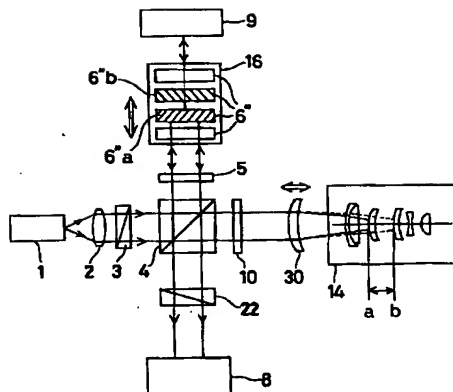
【図13】



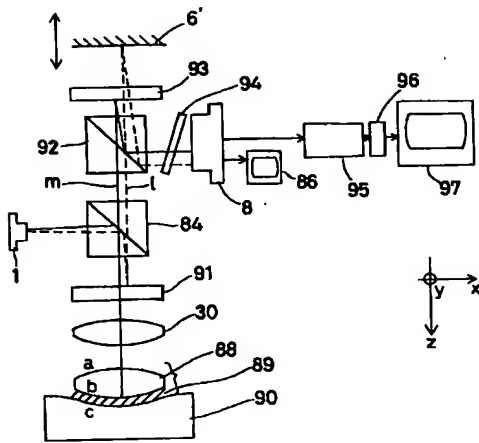
【図8】



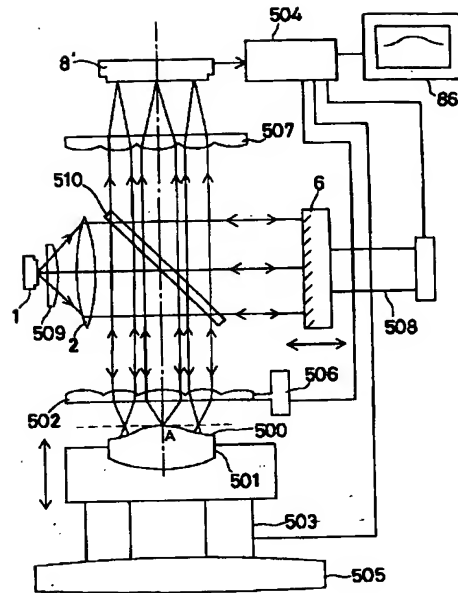
【図12】



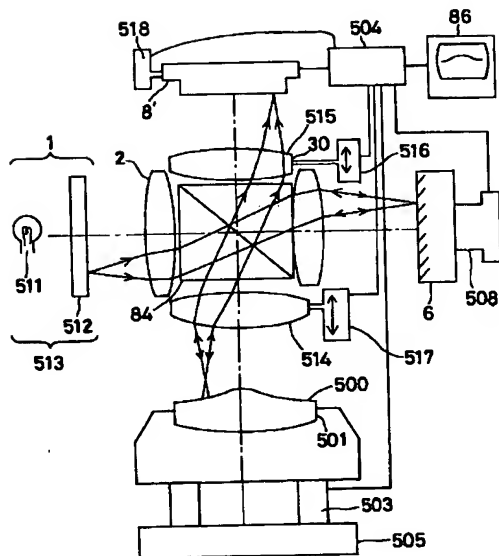
【図14】



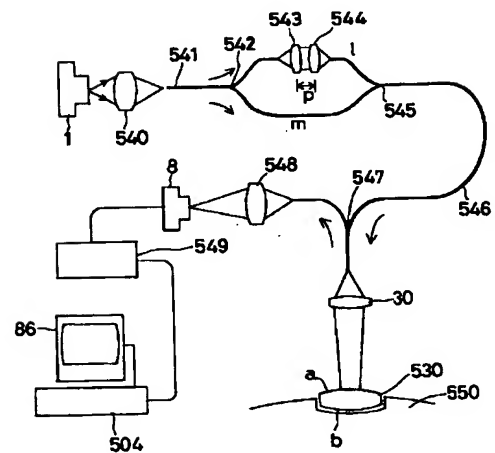
【図15】



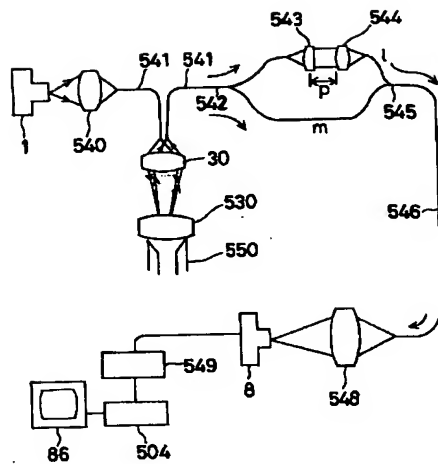
【図16】



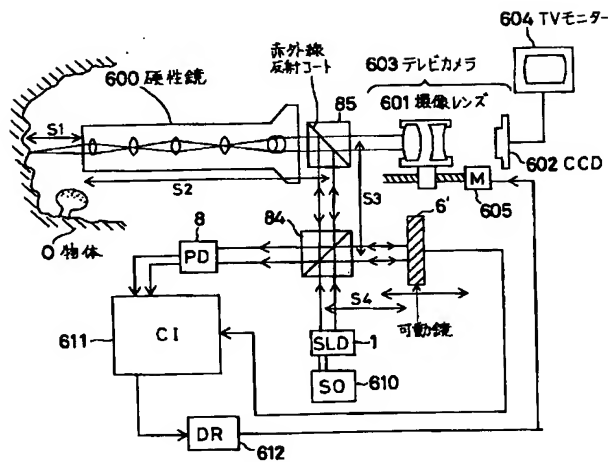
【図17】



【図18】



【図19】



## 【手続補正書】

【提出日】平成11年11月18日(1999. 11. 18)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項26

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【請求項26】 請求項20から25の何れか1項において、 $\lambda_S$ を光強度が $0.2 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より短波長側の波長、 $\lambda_L$ を光強度が $0.2 I_0$ となる

波長のうち $\lambda_0$ より長波長側の波長とすることを特徴とする測定方法及び装置。

## 【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項27

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【請求項27】 請求項20から25の何れか1項において、 $\lambda_S$ を光強度が $0.1 I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より短波長側の波長、 $\lambda_L$ を光強度が $0.1 I_0$ となる

波長のうち $\lambda_0$ より長波長側の波長とすることを特徴とする測定方法及び装置。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0037

【補正方法】変更

【補正内容】

【0037】[26] 上記20から25の何れか1項において、 $\lambda_S$ を光強度が $0.2I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より短波長側の波長、 $\lambda_L$ を光強度が $0.2I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より長波長側の波長とすることを特徴とする測定方法及び装置。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0038

【補正方法】変更

【補正内容】

【0038】[27] 上記20から25の何れか1項において、 $\lambda_S$ を光強度が $0.1I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より短波長側の波長、 $\lambda_L$ を光強度が $0.1I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より長波長側の波長とすることを特徴とする測定方法及び装置。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0154

【補正方法】変更

【補正内容】

【0154】 $0.5 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d / ((L_{Sa} - L_{La}) / 2) < 2.0$

ただし、

$d$  : 透明媒体の厚さ

$n(\lambda)$  : 任意の波長 $\lambda$ における透明媒体の群屈折率

$\lambda_S$  : 光源から射出する光のうち、光強度が最も強い波長 $\lambda_0$ での光強度を $I_0$ としたとき、光強度が $0.5I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より短波長側の波長

$\lambda_L$  : 光強度が $0.5I_0$ となる波長のうち $\lambda_0$ より長波長側の波長

\*  $L_{Sa}$  : 被検物中の全レンズの光軸上での波長 $\lambda_S$ における光路長の和

$L_{La}$  : 被検物中の全レンズの光軸上での波長 $\lambda_L$ における光路長の和

このとき、ガラス板17により生じさせる波長による光路長差は、ガラス板17を配置しない場合の被検光学系14中の一番奥の面で反射した測定光に生じる波長による光路長差の約半分となる。したがって、被検光学系14中の中間付近の面を測定する場合には、測定光と参照光に生じる波長による光路長差が略一致する。また、被検光学系14中の手前の面あるいは奥の面を測定する場合には、測定光と参照光とに生じる波長による光路長差の差は、ガラス板17を配置しない場合の被検光学系14中の一番奥の面で反射した測定光に生じる波長による光路長差の約半分となり、その中間の面では測定光と参照光とで生じる波長による光路長差の差がそれ以下になる。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0157

【補正方法】変更

【補正内容】

【0157】 $0.8 < (n(\lambda_S) - n(\lambda_L)) \cdot d / ((L_{Sa} - L_{La}) / 2) < 1.25$

このとき、ガラス板17により生じさせる波長による光路長差は、ガラス板17を配置しない場合の被検光学系14中の一番奥の面で反射した測定光に生じる波長による光路長差の約半分となり、かつ、上記の場合に比べてより正確に半分となる。したがって、被検光学系14中の手前の面、あるいは奥の面を測定する場合に、測定光と参照光とによって生じる波長による光路長差の差はより正確に、ガラス板17を配置しない場合の被検光学系14中の一番奥の面で反射した測定光に生じる波長による光路長差の約半分となり、その中間の面では測定光と参照光とに生じる波長による光路長差の差がそれ以下になる。

フロントページの続き

(72)発明者 西岡公彦

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ  
ンパス光学工業株式会社内

Fターム(参考) 2F065 AA01 AA22 AA30 AA61 BB05  
CC16 CC21 CC25 FF51 FF55  
FF67 GG02 GG06 GG07 JJ01  
JJ02 JJ03 JJ18 JJ19 JJ25  
JJ26 LL00 LL02 LL08 LL21  
LL31 LL35 LL36 LL37 LL46  
LL53 NN03 QQ23 QQ29 QQ31  
SS02 SS13

2G086 FF01